

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MUSKELSTÄRKE  
DES LINKEN UND RECHTEN HERZVENTRIKELS BEI FOETEN,  
FRÜHGEBORENEN, NEUGEBORENEN UND KLEINKINDERN

VON

ANETTE A. CAUSÉ

1966



Digitized by the Internet Archive  
in 2026



Aus dem pathologischen Institut der Johannes Gutenberg-Universität Mainz  
Direktor: Prof. Dr. H. BREDT

---

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE MUSKELSTÄRKE  
DES LINKEN UND RECHTEN HERZVENTRIKELS BEI FOETEN,  
FRÜHGEBORENEN, NEUGEBORENEN UND KLEINKINDERN

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Medizin  
der Hohen Medizinischen Fakultät  
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von  
ANNETTE A. CAUSE  
aus Mainz

MAINZ 1965

Dekan: Prof. Dr. Borneff  
Referent: Prof. Dr. J. Ruckes  
Korreferent: Prof. Dr. H. Bredt  
Tag der mündl. Prüfung: 17. Mai 1966



Gesamtherstellung: Ditters Bürodienst Mainz

# INHALTSVERZEICHNIS

Seite

|                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Einleitung und Fragestellung .....                                                                                                                               | 1  |
| Material und Methodik.....                                                                                                                                       | 3  |
| Ergebnisse .....                                                                                                                                                 | 5  |
| Wie ist die mittlere Wanddicke des freien, außerhalb des Septums gelegenen Anteils des linken und rechten Herzventrikels, und wie verhalten sie sich zueinander? |    |
| 1. Bei unreifen und partiell reifen Totgeburten Mens III - IX .....                                                                                              | 8  |
| 2. Bei unreifen und partiell reifen Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen .....                                       | 10 |
| 3. Bei reifen Neugeborenen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren .....                                                                                | 11 |
| Mathematisch-statistische Methoden und Ergebnisse .....                                                                                                          | 12 |
| Besprechung der Befunde .....                                                                                                                                    | 17 |
| Zusammenfassung .....                                                                                                                                            | 23 |
| Literaturverzeichnis .....                                                                                                                                       | 25 |



## EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

"Das menschliche Herz hat eine funktionelle Struktur, d.h. makroskopische Form und inneres Gefüge sind seiner Funktion optimal angepaßt" (BENNINGHOFF, A., 1931). Die mit der Geburt erfolgende Umstellung des foetalen Kreislaufs auf die Anforderungen des extrauterinen Lebens führt zu einer Änderung der funktionellen Belastung der einzelnen Herzabschnitte, die sich zwangsläufig in irgendeiner Form morphologisch am Herzen manifestieren muß. Schon die äußere Form des Foeten- bzw. Neugeborenenherzens unterscheidet sich von der des Erwachsenen. Das Herz des jungen Kindes hat eine weit plumpere, rundlichere Gestalt; der rechte Ventrikel erscheint im Vergleich zum linken stärker, beide Herzventrikel sind spitzenbildend. Durch die Einschaltung der Placenta und die Bewältigung einer größeren Blutmenge während des intrauterinen Lebens ist die Arbeitsleistung beider Herzventrikel im Gegensatz zur Zeit nach der Kreislaufumschaltung größer (BROCK, J., 1954). Deutlich wird dies an der ausgeprägten Muskelmasse und dem in Bezug auf das Körpergewicht des Kindes hohen relativen Herzgewichtes von 1 % gegen Ende des zweiten Schwangerschaftsmonats und 0,7 % zum Zeitpunkt der Geburt gegenüber 0,4 - 0,5 % beim Erwachsenen (LINZBACH, A.J., 1959). Die beiden Herzventrikel besitzen während der Zeit der Anpassung an die neuen Kreislaufverhältnisse nach der Geburt ein Maximum an Muskelmasse (MÜLLER, W., 1883). Die zu leistende Arbeit verteilt sich im foetalen Kreislauf annähernd gleichförmig auf beide Ventrikel. Vor der Geburt bewältigt der rechte eine beträchtliche Auswurfleistung in den großen Kreislauf über den Ductus Botalli unter Umgehung des Lungenkreislaufs (BROCK, J., 1954). In der letzten Zeit der Schwangerschaft steigt das Schlagvolumen der rechten Kammer in Zusammenhang mit einer vermehrten Durchblutung der embryonalen Lunge etwas stärker an als das der linken. Das Blutvolumen, das somit gegen Ende der Foetalzeit durch die Lungen fließt, reicht aus, die respiratorischen Belange des Neugeborenen zu garantieren. Die Lungen sind in den letzten zwei Schwangerschaftsmonaten funktionsfähig (PATTEN, B.M., 1930/31; SMITH, C.A., 1951; HORT, W., 1955).

Das Herz und die großen Gefäße entwickeln sich derart, daß die Pumparbeit der verschiedenen Herzabschnitte während des foetalen Lebens ausgeglichen ist. Die Angleichung nach der Geburt erfolgt nicht abrupt, die postnatale Kreislaufleistung bleibt ausbalanciert. Auf den plötzlichen Ausfall des placentaren

Blutstromes und die Funktionsübernahme der Sauerstoffversorgung durch die Lungen ist das Kreislaufsystem vorbereitet, so daß es zu keinem Zeitpunkt zu einer Überbelastung unreifer Anteile des Gefäßsystems kommt (PATTEN, B. M., 1948). Die mit der Geburt erfolgende hämodynamische Umstellung führt über ein wenige Tage dauerndes Zwischenstadium zu den endgültigen Kreislaufverhältnissen mit der definitiven Trennung der beiden Herzhälften.

Im Verlauf dieser Entwicklung ändern sich am Herzen entsprechend seiner funktionellen Belastung auch die anatomischen Relationen (HECK, W., 1964).

Es wird Aufgabe dieser Arbeit sein zu untersuchen, wie sich die Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels beim Foeten, Neugeborenen und Kleinkind mit zunehmender Reife ändert mit dem Endziel der funktionellen und strukturellen Einheit wie beim Erwachsenen. Zusätzlich wollen wir versuchen, die anatomischen Befunde mit den bekannten physiologischen Gegebenheiten des Blutkreislaufs vor und nach der Geburt in Beziehung zu bringen.

Wir haben uns hierbei folgende Fragen vorgelegt, die wir im einzelnen beantworten wollen:

Wie ist die mittlere Wanddicke des freien außerhalb des Septums gelegenen Anteils des linken und rechten Herzventrikels, und wie verhalten sie sich zueinander?

1. Bei unreifen und partiell reifen Totgeburten Mens III - IX.
2. Bei unreifen und partiell reifen Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen.
3. Bei reifen Neugeborenen und Kindern bis zu einem Alter von 4 Jahren.

## MATERIAL UND METHODIK

Unsere Untersuchungen wurden an insgesamt 100 Herzen von Kindern verschiedenen Geschlechts im Alter von Mens III bis 4 Jahren durchgeführt, die in einem Zeitraum von 6 - 12 Stunden nach dem Tode seziiert wurden. Es handelt sich ausschließlich um Kinder, bei denen weder klinisch noch morphologisch eine Erkrankung des Herzens bzw. ein Vitium cordis vorlag. Die totenstarren Herzen wurden uneröffnet im Zusammenhang mit dem Lungenpaket in 10 %igem Formalin fixiert, wodurch die Form des Herzens zum Zeitpunkt der Sektion erhalten blieb. Nach Fixierung wurde das Herz isoliert, und die Vorhöfe, Aorta und Art. pulmonalis im Bereich der Herzbasis vom Ventrikelkomplex sorgfältig abpräpariert. Jeweils aus der Mitte zwischen Herzbasis und der Herzspitze wurde ein etwa 1/2 cm breiter Ring entnommen (Abb. 1).

Dieser so gewonnene Querschnitt durch die in sich geschlossenen Herzventrikel wurde in Paraffin eingebettet. Der Anschnitt der Blöcke erfolgte, bezogen auf den Bau des Herzens spitzwärts. Von den einzelnen Blöcken wurde vor Entnahme des ersten Schnittes 1/3 entfernt, um die Gewähr zu haben, daß das zur Untersuchung gelangende Schnittmaterial sicher aus der Mitte eines jeden Blockes stammte. Die Schnittdicke betrug im Durchschnitt 10  $\mu$ . Es stellte sich heraus, daß bei dieser Schnittdicke die Faserstruktur der Ventrikelwände zur Unterscheidung der verschiedenen Verlaufsrichtungen der Faserzüge und zur Abgrenzung der einzelnen Anteile gegeneinander, wie z. B. die Grenze zwischen linkem und rechtem Herzventrikel und Ursprung der Trabekularmuskulatur am besten photographisch darstellbar war. Von jedem Block wurden 6 aufeinanderfolgende Schnitte hergestellt. Die Färbung erfolgte mit HE. Von dem jeweils besten Schnitt wurde eine Übersichtsaufnahme im Maßstab 1:20 angefertigt. Dies war phototechnisch nur möglich, indem wir das Gesamtbild des jeweiligen Herzquerschnittes in bis maximal 40 Einzelaufnahmen (bei Herzen von Kindern im Alter von 1 - 4 Jahren) zerlegten, aus denen später in Form einer Photomontage das einheitliche Ganze exakt rekonstruiert wurde. Diese Methode des Projizierens der einzelnen histologischen Schnitte im oben genannten Maßstabe hat den Vorteil der bequemen Handhabung bei wiederholten Messungen, die Bilder bleiben für weitere Untersuchungen erhalten. Außerdem bedeutet es eine erhebliche Erleichterung des Meßvorganges durch die gut bestimmbare Abgrenzung der einzelnen Strukturen gegeneinander.

Bei der Bearbeitung dieser so gewonnenen Bilder wurde folgendermaßen vorgegangen: Zunächst wurde die aus der Muskelfaserstruktur und Lage der Herz-

kranzgefäße ersichtliche Grenze zwischen linkem und rechtem Herzventrikel im Bereich des Septums an Herzvorder- und Hinterwand markiert. Von diesen zwei festen Punkten ausgehend, wurde die äußere Grenze der Ventrikelwandungen getrennt für links und rechts mit einem Kurvenmeßgerät umfahren. Die so erhaltenen Strecken, der äußere Umfang von linkem und rechtem Herzventrikel, wurden jeweils in 11 gleiche Abschnitte unterteilt, wodurch wir auf beiden Seiten 10 feste, gleich weit voneinander entfernte, Punkte erhielten, die, in der freien Muskelmasse außerhalb des Septumbereiches liegend, unseren Messungen als Ausgangspunkte dienten. Mit einem Stechzirkel wurde die Dicke der Ventrikelwände in jedem der 10 Punkte unter Abzug der gut abzugrenzenden Trabekularmuskulatur senkrecht zur Hauptverlaufsrichtung der Herzmuskelfaserzüge bestimmt. Bei diesem Meßvorgang wurde beiderseits von dorsal nach ventral vorgegangen (Abb. 2).

Durch Zurückrechnen unserer Werte aus der Vergrößerung von 1:20 gelangten wir schließlich zu den natürlichen Wandstärken im jeweiligen Falle.

Gemessene Strecken:

1. Umfang des linken und rechten Herzventrikels von zwei festen Punkten aus, d.h. der Grenze zwischen links und rechts im Septum dorsal und ventral. Diese Grenze war gut an Hand der Muskelstruktur und dem Verhalten der Coronargefäße zu bestimmen.
2. Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels in 10 festen, gleich weit voneinander entfernten Meßpunkten im Bereich des freien Anteils der Kammerwände unter Abzug der Trabekularmuskulatur. Diese ließ sich von der eigentlichen Wandmuskulatur der beiden Herzventrikel auf Grund ihrer Struktur scharf abgrenzen.

Zur Bestimmung der mittleren Wanddicke des rechten Herzventrikels verwandten wir nur die in den mit den Nummern 1 - 7 in Abb. 2 bezeichneten Meßpunkten gemessenen Werte. In Punkt 8 - 10, die bedingt durch unsere Schnittführung im Anfangsteil der Ausflußbahn des rechten Ventrikels liegen, wurden in fast allen Fällen eine geringere Wanddicke gemessen. Aus diesem Grunde wurden die jeweils letzten 3 ventral im freien Anteil des rechten Herzventrikels bestimmten Meßwerte nicht in die Berechnung der mittleren Wandstärke einbezogen.



Abb. 1: Darstellung der Schnittführung durch das uneröffnete Herz in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze zur Entnahme des zu untersuchenden Querschnitts.

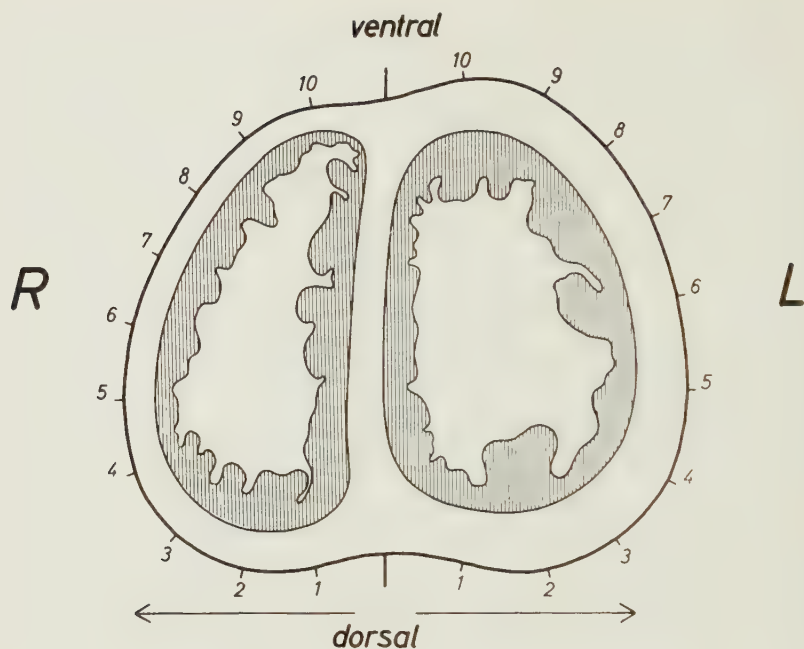


Abb. 2: Darstellung der 10 gleich weit voneinander entfernten Meßpunkte an der äußeren Zirkumferenz des linken und rechten Herzventrikels. Als Ausgangs- und Bezugspunkt des Meßvorganges ist die Grenze zwischen links und rechts im Septum jeweils dorsal und ventral an der Herz- hinter- bzw. Vorderwand markiert. Der eingezeichnete Pfeil soll die Aufeinanderfolge der durchgeführten Messungen veranschaulichen, die jeweils von dorsal nach ventral fortschreitend erfolgte.

## ERGEBNISSE

Als Maßstab für die Unterteilung unseres Materials in Gruppen wählten wir das Alter, bei Tot- und Frühgeburten das Gestationsalter. Eine Gliederung nach Körpergewicht und Scheitel-Fersenlänge der Kinder wurde zunächst versucht, jedoch wieder verworfen, da sich durch Abhängigkeit dieser beiden Faktoren von den verschiedensten Umständen, wie z. B. Krankheitsdauer, Art der Erkrankung und Ernährungszustand eine zu weite Streuung der gemessenen Werte innerhalb der einzelnen Gruppen ergab. Desgleichen erschien uns eine Differenzierung des Materials nach Geschlechtern auf Grund des Fehlens markanter Unterschiede in den Meßergebnissen bei weiblichen und männlichen Kindern nicht gerechtfertigt.

Die in unserem Material von 100 kindlichen Herzen enthaltenen 17 von Totgeborenen wurden vorerst ausgegliedert. Die bei diesen Fällen erhaltenen Meßwerte unterschieden sich deutlich von denen bei meist nur wenige Stunden alt gewordenen Frühgeburten gleichen Gestationsalters (gleicher Reife).

In 10 Fällen ergab sich als Todesursache der Kinder eine mehr oder weniger ausgedehnte Pneumonie, bei 2 Frühgeburten die Ausbildung eosinophiler Membranen in den Lungen. Die Meßwerte zeigen hier keine Abweichung von denen lungengesunder gleichaltriger Kinder. Die Tatsache, daß die Herzen keine Veränderung ihrer Form, bzw. Wandstruktur zeigten, ist wohl darauf zurückzuführen, daß die betreffenden Kinder meist sehr schnell, d. h. wenige Stunden bis 1 - 3 Tage nach Beginn der Erkrankung verstarben.

Zur Aufbereitung unseres Materials mit dem Ziel einer Gruppierung bedienen wir uns der zeichnerischen Darstellung. Man kann sich zunächst rein empirisch die Verhältnisse des Wachstums der Wanddicke des linken bzw. rechten Herzventrikels durch ein Diagramm darstellen, dessen Abszisse der Zeit, und dessen Ordinate der Wanddicke entspricht. Es wurden die Meßwerte zunächst nach dem Alter gruppiert, d. h. die Messungen wurden foetalen Altersklassen mit den Mittelwerten III, IV, V, VI, VII, VIII, IX Monaten, und die der nachgeburtlichen Phase solchen Altersklassen mit den Mittelwerten 0, 1, 2, 3, 4, 5, 8, 12, 24, 36, 48 Monaten zugeordnet. (Die Altersklasse 0 kennzeichnet den Zeitpunkt der Geburt; in ihr sind solche reife Neugeborene enthalten, die nur wenige Stunden bis Tage gelebt haben.) Eine genauere Feststellung

des Gestationsalters bzw. der postfoetalen Lebensdauer als die der Angabe des jeweiligen intra- bzw. extrauterinen Lebensmonats war bei den vorliegenden anamnestischen Angaben nicht möglich. Ein Teil der Streuung der Meßwerte kann deshalb auf altersmäßige Fehlgruppierungen zurückgeführt werden.

Die zeichnerische Ausführung der im vorliegenden Kapitel eingefügten Diagramme 1 - 4 sowohl in Absolutwerten, als auch halb und doppelt logarithmisch ergab das gleiche Bild. Die Wiedergabe erfolgt in halb-logarithmischem Maßstab (Logarithmierung der auf der Ordinate abgetragenen Meßwerte der Herzwanddicke), da sich so die dazustellenden Verhältnisse am einprägsamsten darbieten.

Beschränkt man sich (bei dem angegebenen Meßschema an der linken und rechten Zirkumferenz des Herzens) auf den Mittelwert dieser Messungen, so werden z. B. die des linken Ventrikels eines Probanden in dem angegebenen Diagramm durch einen Punkt dargestellt. Zeichnet man durch den vorliegenden Punkteschwarm zunächst grob nach dem Ermessen eine mittlere Kurve, so zeigt sich, daß die Wanddicken bis etwa zum Zeitpunkt der Geburt steil zunehmen; dann weist diese empirische Kurve einen Knick auf, und es stellt sich ein flacherer Verlauf nach der Geburt dar. Soweit man dies an Hand der vorliegenden Meßpunkte erkennen kann, steigt die Kurve in der zuletzt betrachteten Altersphase wieder an.

Vergleicht man damit die Verhältnisse auf der rechten Seite, so zeigt sich auch hier ein verhältnismäßig steiler Anstieg bis zur Geburt. Danach weist die Kurve, soweit erkennbar aus der Anzahl der Meßpunkte (für den rechten Ventrikel als Kreuze eingezeichnet), einen fast horizontalen Verlauf zur Abszisse auf (Diagramm 1).

Die empirischen Kurven legen deutlich eine Unterteilung des Gesamtverhaltens der Zunahme der Wanddicke des linken bzw. rechten Herzventrikels in eine vorgeburtliche und eine nachgeburtliche Periode nahe. Die sich aus 54 Fällen zusammensetzende vorgeburtliche Lebensphase wurde nochmals in 2 Gruppen unterteilt. Dies erfolgte einmal aus physiologischen Gesichtspunkten heraus, zum anderen angesichts der schon vorangehend erwähnten Tatsache, daß die Meßwerte der Wanddicke bei Totgeburten sich von denen bei Frühgeburten gleicher Reife unterscheiden. Gruppe I umfaßt somit die unreifen und partiell reifen Totgeburten Mens III - IX, Gruppe II die gleichermaßen

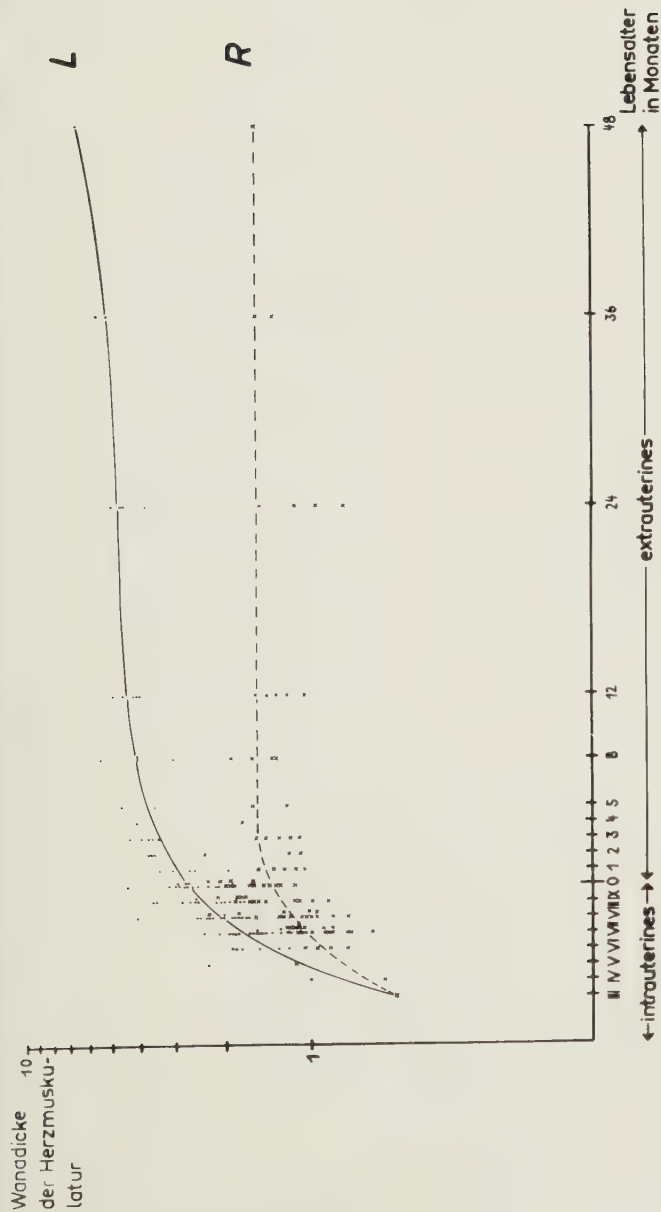


Diagramm 1: Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des linken (.) und des rechten (x) Herzventrikels in Abhängigkeit vom Lebensalter (= intra- bzw. extrauteriner Lebensmonat) in 100 ausgemessenen Herzquerschnitten von Foeten, Säuglingen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren. Die eingezeichneten empirischen Kurven (für links ausgezogen und für rechts gestrichelt) sollen einen groben Überblick über das Verhalten der Wanddicke der beiden Herzventrikel in dem von uns betrachteten Lebensabschnitt vermitteln.



## GRUPPE I



## GRUPPE II

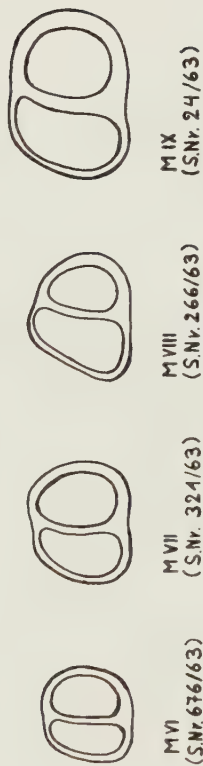
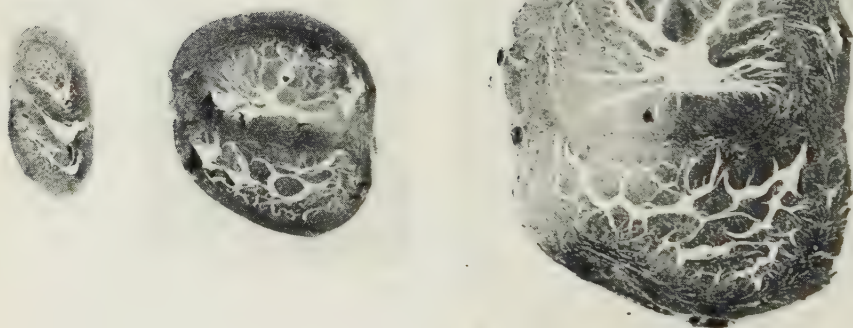


Abb. 3: Schematische Darstellung des Herzquerschnitts (unter Abzug der Trabekularmuskulatur) in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze bei Totgeburten Mens III - IX (Gruppe I) und Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen (Gruppe II). Gezeichnet nach Originalschnitten in der Vergrößerung von 1 : 1, 5.

Abb. 4: Herzquerschnitte in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze (Beispiele aus Gruppe I = unreife und partiell reife Totgeburten Mens III - IX).

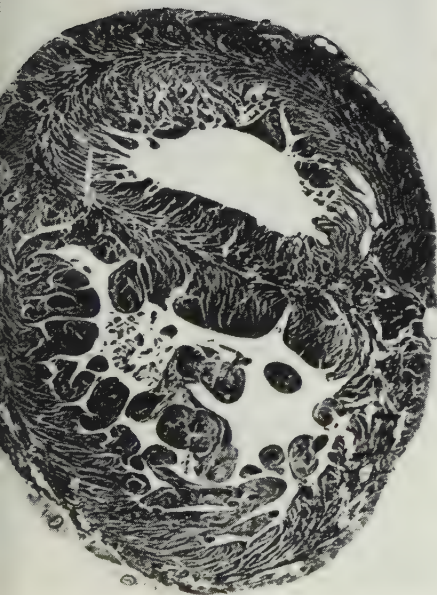


Foet (♂)  
Mens III.  
Paraffin-  
schnitt.  
Färbung  
HE. S.Nr.  
371/63  
Abbm.  
1 : 4, 5

Foet (♂) Mens IV.  
Paraffinschnitt.  
Färbung HE. J.Nr.  
2144/63. Abbm.  
1 : 4, 5

Unreifes totgeborenes  
Kind (♂) Mens VI.  
Paraffinschnitt. Färbung  
HE. S.Nr. 328/63.  
Abbm. 1 : 4, 5

LINKS



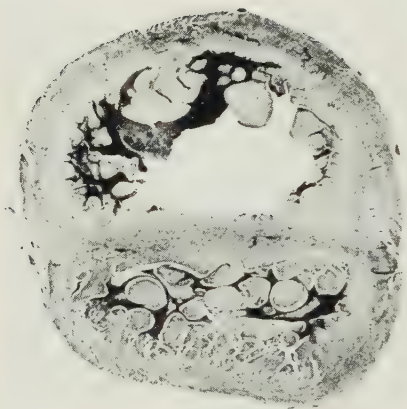
Partiell reifes totgeborenes  
Kind (♂). Mens VIII.  
Paraffinschnitt. Färbung HE.  
S.Nr. 230/63. Abbm. 1 : 4, 5



RECHTS

Reifes totgeborenes Kind (♂)  
Mens IX. Paraffinschnitt. Fär-  
bung HE. S.Nr. 804/62.  
Abbm. 1 : 4, 5

Abb. 5: Herzquerschnitte in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze (Beispiele aus Gruppe II = unreife und partiell reife Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen).



Unreifes frühgeborenes Kind (♂) Mens VI, verstorben im Alter von 1 Tag an den Folgen einer geburts-traumatischen Hirnschädigung. Paraffinschnitt. Färbung HE. S.Nr. 676/63. Abbm. 1 : 4, 5

Unreifes frühgeborenes Kind (♂) Mens VIII, verstorben im Alter von 1 Tag an den Folgen einer geburts-traumatischen Hirnschädigung. Paraffinschnitt. Färbung HE. S.Nr. 266/63, Abbm. 1 : 4, 5



LINKS

RECHTS

Partiell reifes frühgeborenes Kind (♀) Mens IX,  
verstorben im Alter von 13 Tagen an den Folgen  
einer Bronchopneumonie. Paraffinschnitt. Fär-  
bung HE. S.Nr. 24/63. Abbm. 1: 4, 5



### GRUPPE III

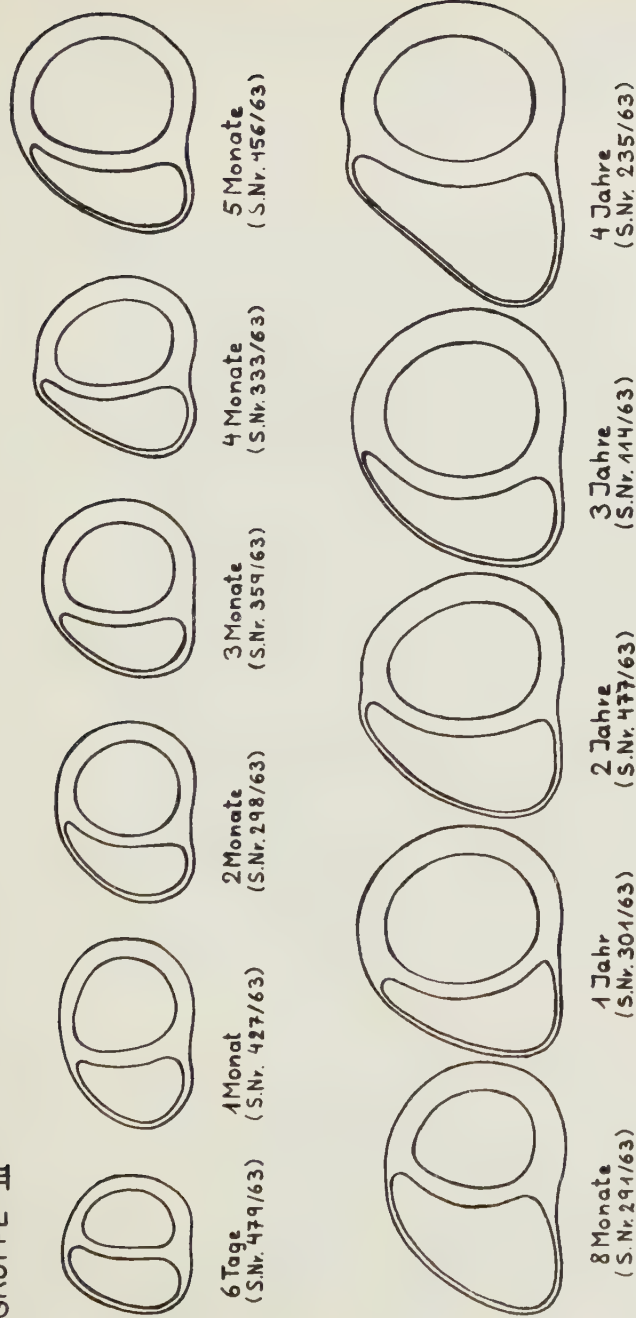
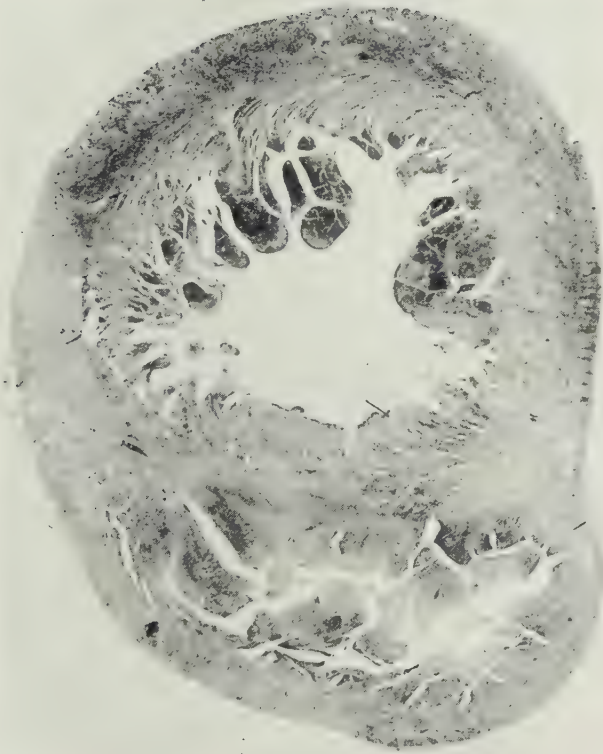


Abb. 6: Schematische Darstellung des Herzquerschnitts (unter Abzug der Trabekulärmuskulatur) in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze bei reifen Neugeborenen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren (Gruppe III). Gezeichnet nach Originalschnitten in der Vergrößerung von 1 : 1, 5.

Abb. 7: Herzquerschnitte in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze  
(Beispiele aus Gruppe III = reife Neugeborene und Kleinkin-  
der bis zu einem Alter von 4 Jahren).



6 Tage altes reifes Neugeborenes (♀),  
verstorben an den Folgen einer congeni-  
talen Oesophagusatresie. Paraffinschnitt.  
Färbung HE. S.Nr. 479/63. Abbm.  
1 : 4, 5.



2 Monate altes Kind (♂), verstorben  
an den Folgen einer diffusen Peritoni-  
tis. Paraffinschnitt. Färbung HE. S. Nr.  
298/63. Abbm. 1 : 4, 5.

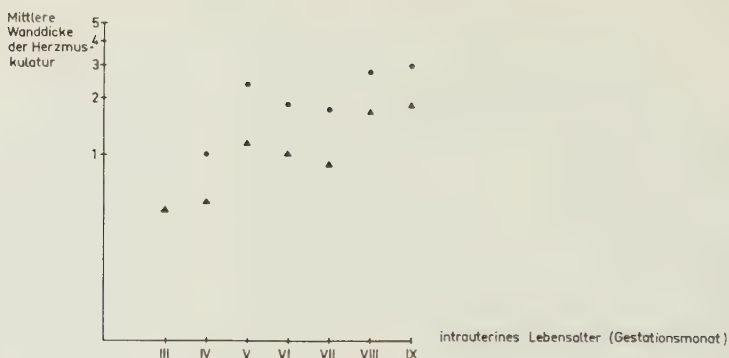


8 Monate altes Kind (♂), verstorben an den Folgen eines Status infectiosus. Paraffinschnitt.  
Färbung HE. S.Nr. 291/63. Abbm. 1 : 4,5.

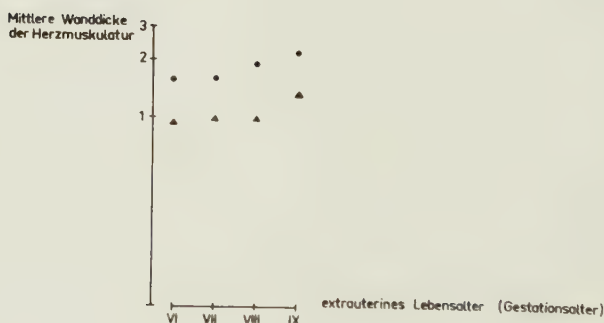


RECHTS

4 Jahre altes Kind (♂), verstorben an den Folgen eines Verkehrsunfalles. Paraffinschnitt. Färbung HE. S. Nr. 235/63. Abbm. 1 : 4, 5.



**Diagramm 2 :** Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des linken (.) und rechten (x) Herzventrikels in Abhängigkeit vom Lebensalter (= Gestationsmonat) bei Foeten und Totgeburtens Mens III - IX (= Gruppe I). - Im III. intrauterinen Monat fallen die Werte der gemessenen mittleren Wanddicke von linkem und rechtem Herzventrikel zusammen.



**Diagramm 3 :** Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des linken (.) und rechten (x) Herzventrikels in Abhängigkeit vom Lebensalter (= Gestationsmonat) bei Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen (= Gruppe II).

unreifen und partiell reifen Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen. In Gruppe III sind die 46 Fälle der Lebensphase nach der Geburt d. h. reife Säuglinge und Kleinkinder vom Zeitpunkt der Geburt bis zum Alter von 4 Jahren zusammengefaßt.

Die Gruppierung unseres Untersuchungsmaterials von 100 kindlichen Herzen gestaltet sich demnach folgendermaßen:

|            |                                                                                                                         |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Gruppe I   | Unreife und partiell reife Totgeburten Mens III - IX (17 Fälle).                                                        |
| Gruppe II  | Unreife und partiell reife Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen (37 Fälle). |
| Gruppe III | Reife Neugeborene und Kleinkinder bis zu einem Alter von 4 Jahren (46 Fälle).                                           |

Aus den folgenden Bildern des Herzquerschnitts in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze im jeweiligen foetalen bzw. postfoetalen Lebensmonat ist der Wandel der Relation der Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels mit zunehmendem Alter klar ersichtlich.

Abb. 3: Schematische Darstellung des Herzquerschnitts (unter Abzug der Trabekularmuskulatur) in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze bei Totgeburten Mens III - IX (Gruppe I) und Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen (Gruppe II). Gezeichnet nach Originalschnitten in der Vergrößerung von 1: 1,5.

I Abb. 4: Herzquerschnitte in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze (Beispiele aus Gruppe I).

II Abb. 5: Herzquerschnitte in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze (Beispiele aus Gruppe II).

Abb. 6: Schematische Darstellung des Herzquerschnitts (unter Abzug der Trabekularmuskulatur) in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze bei reifen Neugeborenen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren (Gruppe III). Gezeichnet nach Originalschnitten in der Vergrößerung von 1:1,5.

III Abb. 7: Herzquerschnitte in der Mitte zwischen Herzbasis und -spitze (Beispiele aus Gruppe III).

Wie ist die mittlere Wanddicke des freien außerhalb des Septums gelegenen Anteils des linken und rechten Herzventrikels, und wie verhalten sie sich zueinander?

In den eingefügten Tabellen I, II, III ist pro Altersklasse (Mens, Monat) angegeben: Anzahl der jeweiligen Fälle ( $n_j$ ), mittlere Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels ( $\bar{w}_j$ ) in mm, Standardabweichung ( $s_{w_j}$ ) und die Relation der mittleren Wanddicke der rechten zu derjenigen der linken Kammerwand (R : L). - In die Berechnung der mittleren Wanddicke des rechten Herzventrikels wurden die im Bereich der Ausflußbahn des rechten Ventrikels im ventralen Anteil der Kammerwand gemessenen Werte der Wanddicke nicht mit einbezogen.

1. Bei unreifen und partiell reifen Totgeburten Mens III - IX

Tabelle I

| Alter<br>Mens | Fälle<br>$n_j$ | linke Kammerwand<br>$\bar{w} \pm s_w$ (mm) | rechte Kammerwand<br>$\bar{w} \pm s_w$ (mm) | Verhältnis<br>R : L |
|---------------|----------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| III           | 1              | 0,5                                        | 0,5                                         | 1 : 1               |
| IV            | 1              | 1,0                                        | 0,55                                        | 1 : 1,82            |
| V             | 1              | 2,3                                        | 1,13                                        | 1 : 2,04            |
| VI            | 2              | 1,80 $\pm$ 0,03464                         | 1,01 $\pm$ 0,07211                          | 1 : 1,78            |
| VII           | 2              | 1,70 $\pm$ 0,3536                          | 0,87 $\pm$ 0,3606                           | 1 : 1,96            |
| VIII          | 5              | 2,72 $\pm$ 0,7886                          | 1,66 $\pm$ 0,6073                           | 1 : 1,64            |
| IX            | 5              | 2,88 $\pm$ 0,7644                          | 1,73 $\pm$ 0,3673                           | 1 : 1,66            |

Wie aus Tabelle I ersichtlich, nimmt die mittlere Dicke der Kammerwand sowohl des linken, als auch des rechten Herzventrikels in unserem Untersuchungsgut von 17 Totgeburten des Gestationsalters Mens III - IX mit der Reife zu. Links erfährt sie einen Zuwachs um 2,38 mm auf 2,88 mm im IX. gegenüber 0,5 mm im III. intrauterinen Lebensmonat. Die Dickenzunahme erfolgt besonders nach dem IV. und VII. Monat. Die Wanddicke des rechten Ventrikels nimmt in der gleichen Zeitspanne von 0,5 mm im III. um 1,23 mm auf 1,73 mm im IX. Monat zu, wobei der Zeitpunkt des größten Wachstums auch hier, wie beim linken Ventrikel, nach dem IV. und zwischen dem VII. und VIII. Monat zu liegen scheint. Über die im V. Monat gemessenen hohen Werte für beide Seiten können wir keine Aussage machen, da uns in dieser Altersklasse nur 1 Fall vorliegt. Insgesamt wird der linke Ventrikel von Mens III - IX um etwa 1 mm dicker, als der rechte in der gleichen Zeitspanne.

Das Zurückbleiben der rechten Herzhälfte bezüglich der Wanddicke wird besonders deutlich an Hand der Änderung der Relation R : L. Das Verhältnis 1 : 1 fanden wir nur in einem Fall, bei einem III Monate alten Foeten. Diese gleiche Stärke der beiden Ventrikelwandungen ist im gesamten übrigen Material nicht mehr vorhanden. Für den Zeitraum des VI. bis IX. intrauterinen Lebensmonats berechneten wir ein durchschnittliches Verhältnis der mittleren Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels von  $R : L = 1 : 1,76$ .

Die graphische Darstellung der mittleren Wandstärke der linken und rechten Kammerwand in Abhängigkeit vom Alter in Diagramm 2 gibt die Entwicklung der Wanddicke während des intrauterinen Lebens wieder. Danach sind links und rechts zunächst in gleicher Dicke angelegt. Vom IV. intrauterinen Monat ab entwickeln sie sich unterschiedlich. Die linke Ventrikelwand zeigt anfangs eine stärkere Dickenzunahme als die rechte. Vom V. Monat an wachsen die beiden Seiten gleichmäßig, wobei die Zunahme der Muskulatur, und damit auch das Verhältnis der mittleren Wanddicke des rechten Herzventrikels zu der des linken annähernd gleich bleibt.

2. Bei unreifen und partiell reifen Frühgeburten Mens VI - IX mit einer Lebensdauer von wenigen Stunden bis 20 Tagen

Tabelle II

| Alter<br>Mens | Fälle<br>n <sub>j</sub> | linke Kammerwand<br>$\bar{w} \pm s_w$ (mm) | rechte Kammerwand<br>$\bar{w} \pm s_w$ (mm) | Verhältnis<br>R : L |
|---------------|-------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| VI            | 3                       | 1,580 $\pm$ 0,9742                         | 0,940 $\pm$ 0,2402                          | 1 : 1,68            |
| VII           | 16                      | 1,606 $\pm$ 0,3459                         | 0,996 $\pm$ 0,1729                          | 1 : 1,61            |
| VIII          | 10                      | 1,915 $\pm$ 0,2011                         | 1,012 $\pm$ 0,1595                          | 1 : 1,89            |
| IX            | 8                       | 2,199 $\pm$ 0,3007                         | 1,320 $\pm$ 0,3091                          | 1 : 1,66            |

Auch in dieser Altersgruppe nimmt die mittlere Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels kontinuierlich mit dem Alter zu. Bei den Frühgeburten wird von Mens VI - IX die linke Kammerwand um 0,619 mm, die rechte um 0,38 mm dicker. Die linke Seite wird also um etwa das Doppelte dicker als die rechte. Dabei ist zu keinem Zeitpunkt ein sprunghafter Zuwachs zu verzeichnen, vielmehr ist die Zunahme relativ gleichförmig, so daß die Dickendifferenzen von Monat zu Monat nur eine geringe Schwankungsbreite zeigen. Wie die Werte der mittleren Wandstärke zeigen, ist die rechte Kammerwand in unseren 4 Altersklassen um fast 1 mm dünner als die linke.

Als Relation der mittleren Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels (R : L) errechneten wir für Mens VI - IX, für die Frühgeburten, Werte wie 1 : 1,68/1,61/1,89/1,66, insgesamt ein durchschnittliches Verhältnis von R : L = 1 : 1,71.

Die gleichmäßige Dickenzunahme des freien Anteils beider Kammerwände geht noch deutlicher aus der graphischen Darstellung hervor (Diagramm 3).

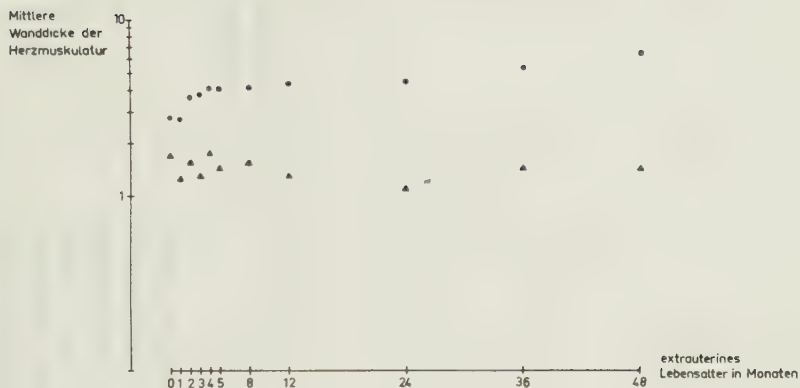


Diagramm 4 : Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des linken (.) und rechten (x) Herzventrikels in Abhängigkeit vom Lebensalter (= extrauteriner Lebensmonat) bei reifen Neugeborenen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren (= Gruppe III).

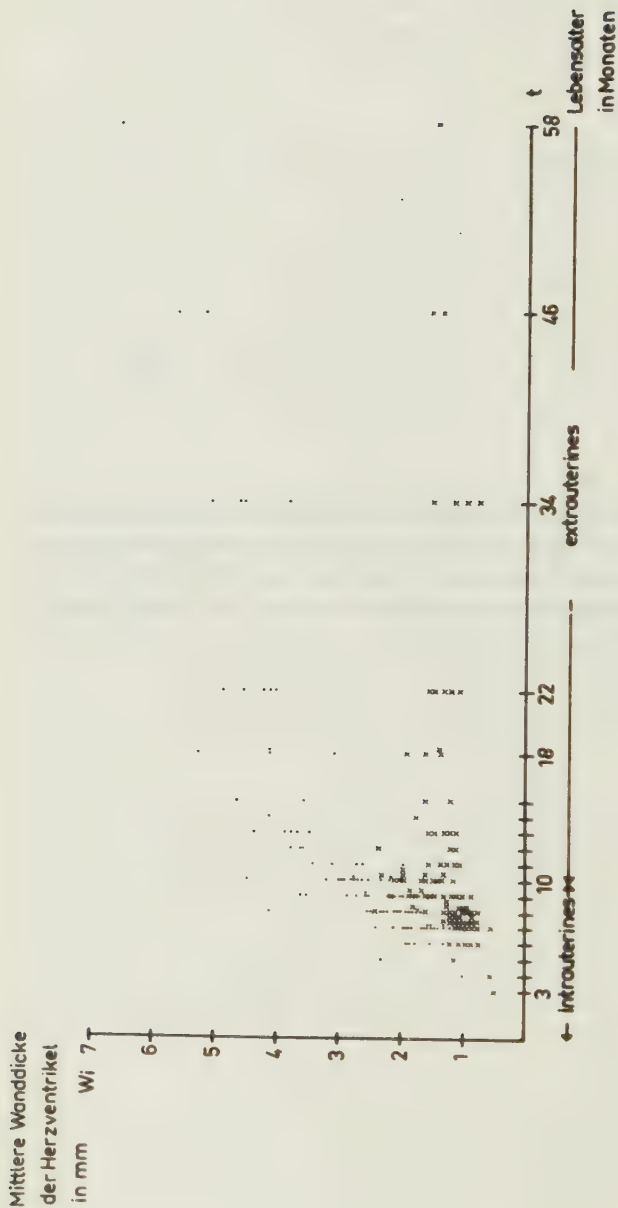


Diagramm 5: Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels in Abhängigkeit vom Lebensalter in 100 ausgemessenen Herzquerschnitten. Die Abszisse entspricht dem Lebensalter (t) in Monaten von der Konzeption ab gerechnet, die Ordinate der mittleren Wanddicke ( $w_1$ ) der beiden Herzventrikel in mm. Die für den linken Ventrikel ermittelten Werte finden sich als Punkte (.) eingetragen, die für den rechten Ventrikel als Kreuze (x).

### 3. Bei reifen Neugeborenen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren

Tabelle III

| Alter<br>Monat | Fälle<br>$n_j$ | linke Kammerwand<br>$\bar{w} \pm s_w$ (mm) | rechte Kammerwand<br>$\bar{w} \pm s_w$ (mm) | Verhältnis<br>R : L |
|----------------|----------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| 0              | 14             | 2,80 $\pm$ 0,5636                          | 1,69 $\pm$ 0,3438                           | 1 : 1,65            |
| 1              | 5              | 2,75 $\pm$ 0,5467                          | 1,27 $\pm$ 0,1939                           | 1 : 2,16            |
| 2              | 3              | 3,64 $\pm$ 0,1058                          | 1,55 $\pm$ 0,7061                           | 1 : 2,35            |
| 3              | 5              | 3,81 $\pm$ 0,3442                          | 1,31 $\pm$ 0,1794                           | 1 : 2,91            |
| 4              | 1              | 4,10                                       | 1,74                                        | 1 : 2,36            |
| 5              | 2              | 4,10 $\pm$ 0,7566                          | 1,42 $\pm$ 0,2758                           | 1 : 2,88            |
| 8              | 4              | 4,14 $\pm$ 0,8904                          | 1,55 $\pm$ 0,2626                           | 1 : 2,67            |
| 12             | 5              | 4,33 $\pm$ 0,3513                          | 1,31 $\pm$ 0,1906                           | 1 : 3,30            |
| 24             | 4              | 4,49 $\pm$ 0,5173                          | 1,09 $\pm$ 0,3187                           | 1 : 4,12            |
| 36             | 2              | 5,40 $\pm$ 0,3253                          | 1,43 $\pm$ 0,1273                           | 1 : 3,78            |
| 48             | 1              | 6,54                                       | 1,44                                        | 1 : 4,54            |

Die Wandstärke des linken und rechten Herzventrikels zeigt beim reifen Neugeborenen mit einer Lebensdauer bis zu 17 Tagen im Vergleich zum Säugling im Alter von 1 Monat einen Abfall (vergleiche hierzu Tabelle III). Dieser ist mit 0,42 mm für die rechte Kammerwand beträchtlicher als für die linke, wo sie mit 0,05 mm kaum ins Gewicht fällt. Im 2. Lebensmonat liegen die für beide Ventrikelwände bestimmten Werte der mittleren Wanddicke wieder höher, links wird dabei der Meßwert von 2,8 mm zum Zeitpunkt der Geburt um 0,84 mm überschritten. Rechts nimmt die Wanddicke gegenüber 1,27 mm im 1. Lebensmonat um 0,28 mm zu, bleibt jedoch mit 1,55 mm um 0,14 mm unter dem beim Neugeborenen gemessenen durchschnittlichen Wert. Vom 2. Lebensmonat ab erfolgt dann eine gleichmäßige, wenn auch divergente Entwicklung der Wanddicke beider Ventrikel. Links ist eine kon-

tinuierliche Dickenzunahme bis zum Höchstalter von 4 Jahren in unserem Material abzulesen, wobei ab dem 2. Lebensjahr der Zuwachs deutlich größer ist als vorher.

Mit 12 Monaten beträgt die Dicke der linken Kammerwand das 1 1/2-fache des Wertes zum Zeitpunkt der Geburt, mit 36 Monaten das Doppelte und mit 4 Jahren das 2 1/2-fache. Die für rechts ermittelten Werte der Wandstärke bleiben in der Zeitspanne vom 2. bis zum 48. Lebensmonat ungefähr gleich, zeigen sogar eine etwas absteigende Tendenz.

Das Verhalten der Relation  $R : L$  in der vorliegenden Altersgruppe verdeutlicht noch mehr die unterschiedliche Entwicklungstendenz der Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels. Zum Zeitpunkt 0, d.h. gleich nach der Geburt, fanden wir ein Verhältnis von  $R : L = 1 : 1,65$ . Mit 1 Monat betrug der Wert von  $R : L = 1 : 2,16$ , mit 1 Jahr  $1 : 3,3$ , im 3. Lebensjahr  $1 : 3,77$  und im 4. fanden wir eine Relation von  $R : L = 1 : 4,54$ . Die Abnahme der Wandstärke nach der Geburt zeigt sich besonders markant für den rechten Ventrikel. Vom 2. Lebensmonat an erfolgt eine langsame aber stetige und relativ gleichmäßige Dickenzunahme der linken Kammerwand bis zum Alter von 4 Jahren. Der rechte Ventrikel dagegen behält seine Dicke bei (Diagramm 4).

## MATHEMATISCH-STATISTISCHE METHODE UND ERGEBNISSE

Die durchgeführten Messungen der Wanddicke des freien Anteils des linken und rechten Herzventrikels bei Foeten Mens III - IX, Säuglingen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren sollten es ermöglichen, die Entwicklung des Herzmuskels der linken und rechten Herzhälfte im Laufe der betrachteten Altersperiode an Hand des, wenn auch groben, Kriteriums der Wanddicke zu untersuchen. Insbesondere interessiert die Frage, ob das Wachstum der Wanddicke des linken Herzventrikels einen anderen Verlauf nimmt als das des rechten.

Zur mathematisch-statistischen Auswertung unserer Ergebnisse wurden die aus insgesamt 100 ausgemessenen kindlichen Herzquerschnitten erhaltenen Werte für die mittlere Wanddicke des freien Anteils der beiden Herzventrikel nach dem Alter gruppiert, d.h. sie wurden Altersklassen mit den Mittelwerten 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18, 22, 34, 46, 58 Monaten zugeordnet. Die Altersklassen 3, 4, 5, 6, 7, 8 und 9 umfassen unreife und

partiell reife Foeten, bzw. Früh- und Totgeburten. Die Altersklasse 10 kennzeichnet sozusagen den Zeitpunkt der Geburt; in ihr sind solche Neugeborene zusammengefaßt, die reif zur Welt kamen und nur wenige Stunden bis Tage überlebten. Die Altersklasse 11 besagt, daß die in ihr enthaltenen Fälle, d.h. Säuglinge, ein Lebensalter von 1 Monat erreichten, in Altersklasse 12 ein solches von 2 Monaten usw.

Es wurden zunächst in Form eines Punktediagramms die in jedem der 100 ausgemessenen Herzquerschnitte ermittelte mittlere Wanddicke des freien Anteils sowohl des linken als auch des rechten Herzventrikels in Abhängigkeit vom Lebensalter in ein Koordinatensystem eingetragen (Diagramm 5).

Zur weiteren Veranschaulichung des Verhaltens der Herzwanddicke des linken und rechten Ventrikels in dem von uns betrachteten Lebensabschnitt vom 3. intrauterinen Lebensmonat bis zum 4. Lebensjahr dienen die nachfolgend angeführten beiden Diagramme (Diagramm 6 und Diagramm 7). In diesen ist graphisch dargestellt (in Diagramm 6 für den linken, in Diagramm 7 für den rechten Herzventrikel) die für jede Altersklasse ermittelte mittlere Wanddicke und die Standardabweichung.

Der Mittelwert der Wanddicke in den einzelnen, unterschiedlich viele Fälle umfassenden Altersklassen  $j$ , berechnet sich nach der Formel

$$\bar{w}_j = \frac{\sum w_{ij}}{n_j}$$

Für die Standardabweichung gilt

$$s_{wj} = \sqrt{\frac{(w_{ij} - \bar{w}_j)^2}{n_j - 1}}$$

Die in Diagramm 6 auffallend kleine Streuung in der Altersklasse 12 ist dadurch bedingt, daß hierin nur 3 Fälle enthalten sind, die zufällig nahe beisammen liegen. Da in den Altersklassen 3, 4, 5, 58 jeweils nur 1 Fall vorliegt, konnte hier keine Standardabweichung berechnet werden.

Es war nun unsere Aufgabe, für den mittleren Verlauf des Verhaltens der Wanddicke des freien Anteils des linken und rechten Herzventrikels in den ein-

zelnen Lebensmonaten, die sich in dieser bandartigen Form, angedeutet schon in Diagramm 5, und noch eindrucksvoller getrennt für links und rechts in den Diagrammen 6 und 7 abzeichnet, durch eine analytische Funktion darzustellen.

Von vornherein mußte damit gerechnet werden, daß nur ein begrenzter Zeitabschnitt der Entwicklung der Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels durch eine analytische Funktion zu beschreiben ist, da Fälle aus den höheren Altersklassen fehlten.

Sinngemäß zur Darstellung eines solchen Wachstumsablaufs ist die logistische Funktion von der Form

$$p = \frac{1}{1 + e^{\alpha + \beta x}}$$

Bei einer solchen Darstellung müssen Annahmen über maximale Werte der Herzwanddicke gemacht werden. Nach Angaben in der Literatur wurden von uns für die linke Herzwand 10 mm und für die rechte 3 mm angenommen (SAPHIR, O., 1958). Unsere Berechnungen ergaben jedoch eine unbefriedigende Anpassung der logistischen Funktion an die gegebenen Daten, auch dann, wenn quadratische Glieder im Exponenten im Nenner berücksichtigt wurden. Diese schlechte Anpassung läßt sich begründen durch die ungleiche Verteilung der Werte in den betrachteten Altersabschnitten, außerdem macht sich hier das Fehlen von Werten in den höheren Altersklassen bemerkbar.

Es wurden noch andere Möglichkeiten geprüft, die sich in den beiden Diagrammen 6 und 7 abzeichnende bandartige Form für das mittlere Verhalten der Wanddicke des linken bzw. rechten Herzventrikels in dem betrachteten Lebensabschnitt mittels einer analytischen Funktion zu beschreiben. Es wurden in der Berechnung einmal ausgehend von unseren natürlichen Werten, dann bei Logarithmierung der Ordinate, d.h. der gemessenen Werte der Herzwanddicke, und schließlich bei Logarithmierung sowohl der Ordinate als auch der Abszisse, d.h. sowohl der Meßwerte der Herzwanddicke als auch der Zeit, ein Polynom 2. und ein solches 3. Grades nach der Methode der kleinsten Quadrate unter Berücksichtigung aller Meßwerte angepaßt.

Die beste Anpassung ergab ein Polynom 3. Grades bei Logarithmierung sowohl der Abszisse als auch der Ordinate, d.h. sowohl der gemessenen Werte der Herzwanddicke ( $w_L$ ,  $w_R$ ) als auch der Zeitachse ( $t$ ).

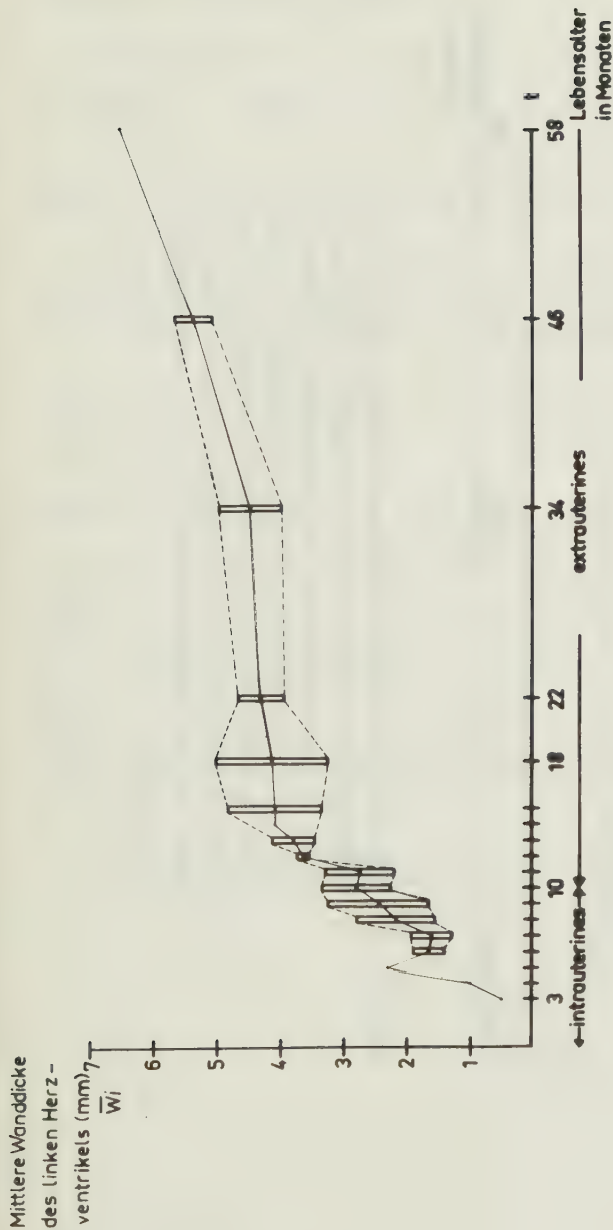


Diagramm 6 : Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des linken Herzventrikels pro Altersklasse in Abhängigkeit vom Lebensalter. Die Abszisse entspricht dem Lebensalter ( $t$ ) in Monaten von der Konzeption ab gerechnet, die Ordinate der mittleren Wanddicke ( $\bar{w}_l$ ) des linken Herzventrikels in mm. Die in jeder Altersklasse ermittelte mittlere Wanddicke ist als Punkt ( $\cdot$ ), die Standardabweichung ( $s_w$ ) als senkrechter Balken eingetragen.

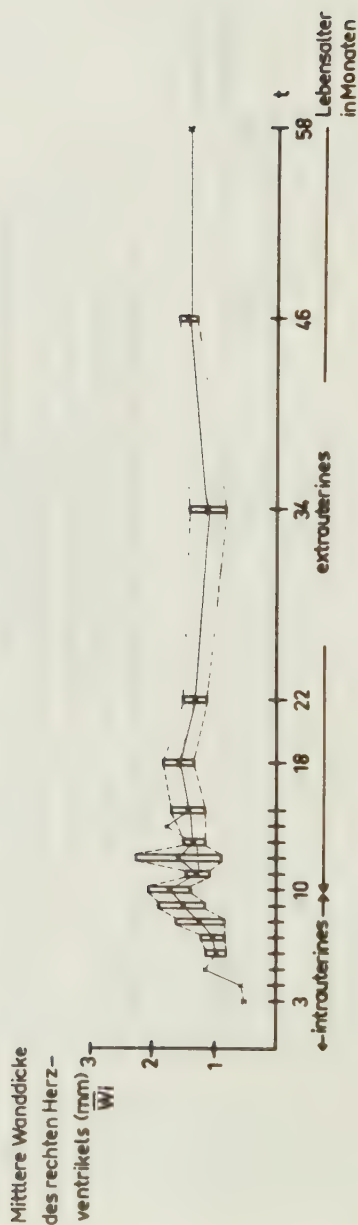


Diagramm 7 : Graphische Darstellung der mittleren Wanddicke des rechten Herzventrikels pro Altersklasse in Abhängigkeit vom Lebensalter. Die Abszisse entspricht dem Lebensalter ( $t$ ) in Monaten von der Konzeption ab gerechnet, die Ordinate der mittleren Wanddicke ( $\bar{w}_i$ ) des rechten Herzventrikels in mm. Die in jeder Altersklasse ermittelte mittlere Wanddicke ist als Kreuz ( $x$ ), die Standardabweichung ( $s_w$ ) als senkrechter Balken eingetragen.

Es fanden sich folgende Polynome 3. Grades:

$$w_L = 0,72186 + 2,49521 t - 0,82261 t^2 + 0,02796 t^3$$

$$w_R = 0,02633 + 4,55804 t - 3,14580 t^2 + 0,69188 t^3$$

Diese Polynome 3. Grades passen sich nach dem optischen Eindruck den gegebenen Daten in befriedigender Weise an (Diagramm 8 und 9).

Zur Prüfung der Anpassung des Polynoms an die gemessenen Werte der mittleren Wanddicke des freien Anteils des linken und rechten Herzventrikels wurde eine Varianzanalyse durchgeführt, die folgende Ergebnisse erbrachte:

Varianzanalyse für ein Polynom 3. Grades:

Linker Herzventrikel:

| Streuung           | Freiheitsgrad | Summe der Quadrate | Durchschnitts-<br>quadrat |
|--------------------|---------------|--------------------|---------------------------|
| Auf der Regression | 3             | 2,87918            | 0,95973                   |
| Um die Regression  | 96            | 0,82165            | 0,00856                   |
| Insgesamt          | 99            | 3,70082            |                           |

$$F = 112,1 \quad (\text{gesichert bei } P \leq 0,1 \%)$$

Rechter Herzventrikel:

| Streuung           | Freiheitsgrad | Summe der Quadrate | Durchschnitts-<br>quadrat |
|--------------------|---------------|--------------------|---------------------------|
| Auf der Regression | 3             | 0,61485            | 0,20495                   |
| Um die Regression  | 96            | 1,20106            | 0,01251                   |
| Insgesamt          | 99            | 1,81590            |                           |

$F = 16,4$  (gesichert bei  $P \leq 0,1\%$ )

Diese Transformation ergab also, wie Diagramm 8 und 9 zeigen, eine gute Anpassung an die gegebenen Werte. Die in der Varianzanalyse errechneten  $F$ -Werte lagen deutlich höher als die bei anderen Transformationen.

Für die mittlere Wanddicke des freien Anteils des linken Herzventrikels ergibt sich, wie aus Diagramm 8 ersichtlich, eine rasch ansteigende Parabel, die sich allmählich abflacht. In Diagramm 9 für das mittlere Verhalten der Wanddicke des rechten Herzventrikels innerhalb des von uns betrachteten Lebensabschnitts vom III. intrauterinen bis zum 48. extrauterinen Lebensmonat erkennt man nach einem zunächst raschen Anstieg der Kurve etwa zum Zeitpunkt der Geburt ein Maximum. Dann erfolgt eine flache Abnahme und dem grundsätzlichen Verlauf des Polynom 3. Grades entsprechend nachfolgend ein erneuter Anstieg. Besonders der Teil der Kurve nach dem Geburtstermin läßt sich schwer deuten, da ab hier nur noch wenige Fälle vorhanden sind, und vor allem solche in den höheren Altersklassen fehlen. Die Frage, ob nach der Geburt eine passagere Abnahme der Wanddicke des rechten Herzventrikels erfolgt, läßt sich an Hand des vorliegenden Zahlenmaterials schwer entscheiden. Allerdings würde diese Tatsache der von zahlreichen Autoren beschriebenen "physiologischen postnatalen Atrophie" des rechten Herzventrikels entsprechen (BOELLAARD, J. W., 1952; HORT, W., 1955; LINZBACH, A. J., 1958; KYRIELEIS, Ch., 1963).

Was diese Kurvenanalyse an verläßlichem Erfolg bringt, ist eine verhältnismäßig rasche Zunahme der Herzwanddicke während der Foetalzeit und eine nur

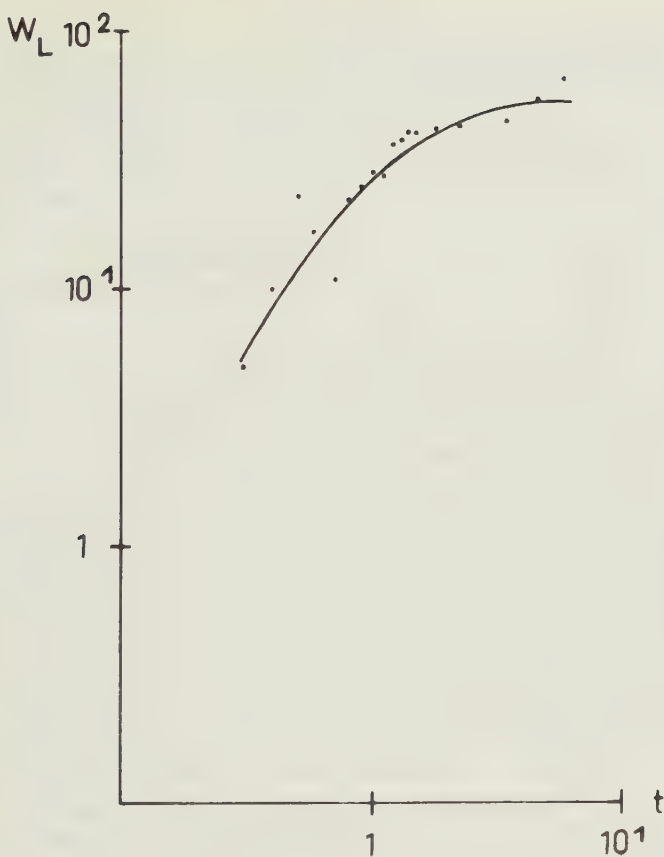


Diagramm 8: Graphische Darstellung der Anpassung einer analytischen Funktion an das mittlere Verhalten der Wanddicke des linken Herzventrikels in dem betrachteten Lebensabschnitt vom 3. intrauterinen Lebensmonat bis zum 4. Lebensjahr mittels eines Polynoms 3. Grades bei Logarithmierung sowohl der Abszisse (Zeit =  $t$ ) als auch der Ordinate (mittlere Wanddicke der linken Ventrikelwand =  $w$ ). Die von uns errechneten mittleren Wanddicken des linken Ventrikels pro Altersklasse sind als Punkte (.) eingezeichnet.

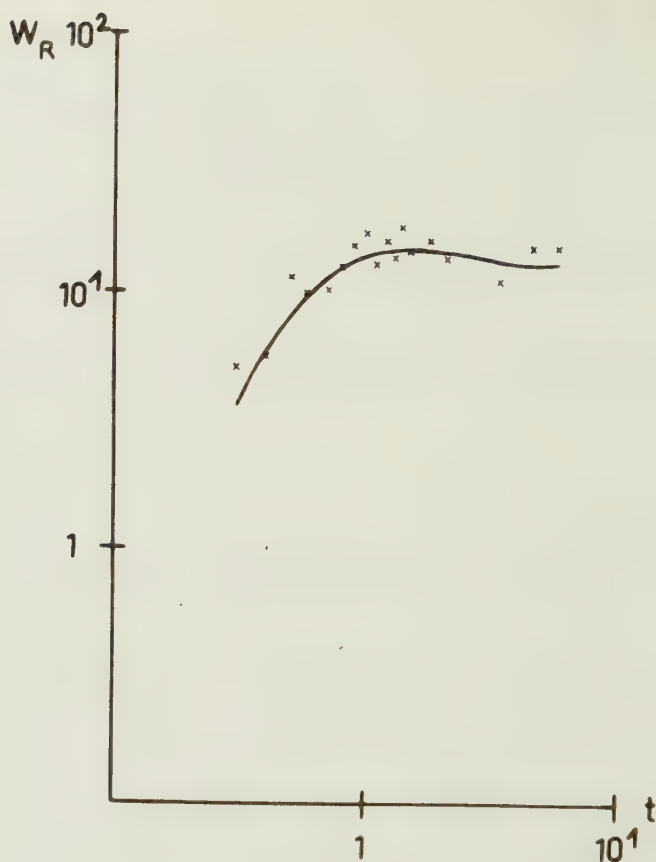


Diagramm 9: Graphische Darstellung der Anpassung einer analytischen Funktion an das mittlere Verhalten der Wanddicke des rechten Herzventrikels in dem betrachteten Lebensabschnitt vom 3. Intrauterinen Lebensmonat bis zum 4. Lebensjahr mittels eines Polynoms 3. Grades bei Logarithmierung sowohl der Abszisse (Zeit =  $t$ ) als auch der Ordinate (mittlere Wanddicke der rechten Ventrikelwand =  $w_R$ ). Die von uns errechneten mittleren Wanddicken des rechten Ventrikels pro Altersklasse sind als Kreuze eingezeichnet.

noch allmählich erfolgende nach der Geburt, was sowohl für den linken, als auch für den rechten Herzventrikel gilt. Außerdem ergibt sich zu keinem Zeitpunkt des von uns betrachteten Lebensabschnitts vom III. intrauterinen Lebensmonat bis zum 4. Lebensjahr eine Gleichheit der Wanddicke des freien Anteils der beiden Herzventrikel.

## BESPRECHUNG DER BEFUNDE

Die makroskopischen Formveränderungen des Herzens während des kindlichen Wachstums sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die Vorhöfe, die Umfänge der Atrioventricularostien, sowie die Flächen und Gewichte der Mitral- und Tricuspidalklappe etwas schneller wachsen als die Ventrikel. Das heißt, das Herz verändert seine Gestalt derart während des Lebensablaufs, daß es im Bereich der Atrioventricularebene immer breiter wird und nach unten zu sich mehr und mehr zuspitzt (Lineare Herzmessung, KIRCH, E., 1921). Anatomisch läßt sich das Wachstum des Herzens, bzw. das Verhältnis der rechten Herzkammer zur linken in verschiedenen Altersstufen ausdrücken durch Gewicht, Volumen, Oberfläche oder Dicke der Ventrikelwände. Eine Durchsicht der Literatur zeigt, daß diesbezügliche Untersuchungen sehr häufig sind, wobei der Zeitraum um die Geburt mit der Umstellung des Kreislaufs von den Gegebenheiten des intrauterinen Lebens auf die des Erwachsenenstatus im Vordergrund der Arbeiten steht.

Während des intrauterinen Lebens bewältigt der rechte Ventrikel über den Ductus Botalli einen beträchtlichen Anteil der Auswurfleistung in den großen Kreislauf. Nach der Geburt hat er lediglich die Durchströmung des Lungenkreislaufs zu garantieren, was im Vergleich zum linken Herzen mit einer geringeren Drucksteigerung möglich ist. Infolgedessen braucht die Muskelmasse der rechten Herzkammer in der ersten Lebenszeit kaum zuzunehmen, während der linke Ventrikel, ebenso wie die Masse des übrigen Körpers sich sprunghaft vergrößert. Vom Kindesalter an übersteigt die Muskelmasse des linken Herzventrikels diejenige des rechten etwa um das Doppelte. Die Dicke der beiden Herzkammern muß dementsprechend eine getrennte Entwicklung durchmachen.

Angaben darüber, daß linker und rechter Ventrikel in der Foetalzeit in ihrer Größe einander gleich sind, finden sich seit HARVEY, der im 17. Jahrhundert als erster auf die Unterschiedlichkeit der beiden Herzventrikel, was deren

Funktion und Bau während des intrauterinen und des extrauterinen Lebens betrifft, hinwies.

Nach MÜLLER (1883) und FALK (1911) ist das Gewicht der linken und rechten Herzkammer zur Zeit des intrauterinen Lebens ungefähr gleich. Weitere Autoren geben ein Gewichtsverhältnis von  $R > L$  an, d.h. sie sprechen von einer Dominanz des rechten Ventrikels in den letzten Schwangerschaftsmonaten und auch noch für kurze Zeit nach der Geburt (KEEN, N., 1955; MERKEL, H., und WITT, H., 1955; MOLZ, G., 1962; RECAVARREN, S. und ARIAS-STELLA, J., 1964). HORT (1955) begründet dies mit einem stärkeren Wachstum der rechten Kammerwandmuskulatur gegen Ende des intrauterinen Lebens, die beim ausgetragenen Neugeborenen gleich schwer oder schwerer als die des linken Herzventrikels sei.

Mit zunehmender Reife verschiebt sich das Gewichtsverhältnis  $R : L$  beim herzgesunden Menschen immer mehr zu Gunsten des linken Herzventrikels mit dem Endziel einer Relation von  $R : L = 1 : 2-3$  beim Erwachsenen, die sich dann im Laufe des Lebens beim gesunden Menschen nicht mehr wesentlich ändert. Die Masse des Herzens nimmt mit der Masse des Körpers zu. Innerhalb des ersten Lebensjahres verdoppelt sich das Anfangsgewicht des Herzens, es verdreifacht sich im 2- - 3. Jahr (FALK, K., 1911; SMITH, C.A., 1951). Dieser Zuwachs erfolgt nicht proportional, sondern in einem stetig abnehmenden Verhältnis. Entsprechend fällt das relative Herzgewicht von der Geburt an im 1. Lebensjahr deutlich ab, um dann zwischen 1. und 15. Lebensjahr konstant zu bleiben (SMITH, H.L., 1929; RÖSSLE, R. und ROULET, F., 1932; LINZ-BACH, A.J., 1959). Das besagt, daß, bezogen auf die Zunahme der Gesamtmasse des Körpers, offensichtlich eine Kreislaufumstellung erfolgt, die eine relative Reduzierung der Muskelmasse des Herzens erlaubt.

Mit der Geburt und der Anpassung des Zirkulationsapparates an die geänderten Kreislaufverhältnisse beginnt eine allmähliche Umgestaltung der Form und der Relation des rechten zum linken Herzventrikel. Aus der kreislaufphysiologisch bedingten Entlastung des rechten Herzens und der Mehrbelastung des linken mit der Geburt und dem Einsetzen der Atmung resultiert eine unterschiedliche Entwicklung der beiden Herzventrikel in dem Sinne, daß der linke Ventrikel eine größere Wachstumstendenz zeigt, und der rechte im Vergleich dazu atrophiert. Das Myocard der rechten Kammer zeigt nach der Geburt einen relativen und absoluten Gewichtsabfall. Ende des 2. Lebensmonats ist es um  $1/5$  leichter als bei der Geburt und erreicht erst gegen Ende des 1. Jahres sein

Geburtsgewicht wieder, womit gleichzeitig etwa die R/L-Relation wie beim Erwachsenen erreicht ist (MÜLLER, W., 1883; FALK, K., 1911; PATTEN, B.M., 1930; SMITH, C.A., 1951; KEEN, E.N., 1955; HORT, W., 1955; LINZBACH, A.J., 1958; KYRIELEIS, Ch., 1963). Diese Wachstumsverzögerung des rechten Ventrikels konnte von HORT und LINZBACH an Hand mikrometrischer Untersuchungen der Herzmuskelfaserkerne besonders deutlich gezeigt werden. Demnach haben ausgetragene Neugeborene halb so viel Muskelfaserkerne /  $\text{cm}^3$  als Erwachsene. Die durch Amitose erfolgende Verdoppelung geschieht für den linken Ventrikel im 1. Vierteljahr, während sie für den rechten Ventrikel eine längere Zeit in Anspruch nimmt.

Angaben über die Entwicklung der Herzkammerwände, bzw. ihre absolute Dicke weichen bei den verschiedenen Autoren nicht unerheblich voneinander ab. Letztere Feststellung bezieht sich vorwiegend auf Wandstärkenbestimmungen beim Foeten und Totgeborenen bis zum Zeitpunkt der Geburt. Hier spiegelt sich die gleiche Unterschiedlichkeit der Angaben wider, wie beim Herzgewicht. Durch planimetrische Querschnittsflächenbestimmung fanden ZIEGEN-SPECK (1905) und KEEN (1942) bei ausgetragenen Kindern ein Verhältnis der Wandstärke der beiden Herzventrikel von R : L = 1 : 1. Auch nach POTTER und ADAIR (1950) und STARCK (1955) ist die Wanddicke rechts und links während des intrauterinen Lebens gleich, d.h. Dickenunterschiede sollen sich erst postnatal nach definitiver Trennung der beiden Herzhälften entwickeln.

Nach YLPPÖ (1919) und DRAGENDORFF (1938) ist der rechte Ventrikel beim Foeten und Neugeborenen dicker als der linke. Diese Rechtsdominanz wurde vorangehend schon beim Herzgewicht, bzw. dem Einzelgewicht der beiden Ventrikel angeführt, ein Befund, der hierbei durch das Mitwiegen der rechts besonders stark ausgeprägten Trabekularmuskulatur bedingt sein dürfte.

Meßergebnisse, nach denen auch schon während des intrauterinen Lebens der linke Ventrikel in seiner Dicke überwiegt, finden sich bei BOELLAARD (1952) und vor allem bei SCHULZ und GIORDANO (1962). LANGENSTEIN und PUTZIG (1914) berechneten ein Verhältnis der Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels von 0,34 - 0,44 : 0,48 beim Neugeborenen.

Wie beim Herzgewicht, so besteht auch bezüglich der absoluten Wanddicke der beiden Herzkammern Einigkeit über das Linksüberwiegen einige Zeit nach der Geburt, d.h. nach erfolgter Anpassung an die extrauterinen Kreislaufverhältnisse. Nach FALK (1911) erfolgt die Dickenzunahme links ununterbrochen bis zur

Erreichung eines Maximums von 1 cm im Alter von 14 Jahren. Die rechte Kammerwand dagegen nimmt von der Geburt bis zum 15. Lebensjahr insgesamt nur 0,1 cm in ihrer Stärke zu. ZIEGENSPECK (1905) fand für das Alter von 6 Tagen ein Verhältnis von R : L = 1 : 1,35, TANDLER (1913) gibt für 3 - 6 Monate alte Kinder ein solches von 1 : 2,3 an, das bereits dem Erwachsenenstatus entspricht.

In den folgenden beiden Tabellen haben wir unsere Meßergebnisse der mittleren Wandstärke des linken (Tabelle IV) und rechten Herzventrikels (Tabelle V) denen anderer Autoren gegenübergestellt jeweils in den von uns untersuchten Altersklassen.

Das größte Material lag bei SCHULZ und GIORDANO (1962) mit insgesamt 1847 Fällen im Alter von Mens V - 15 Jahren vor. Die Messungen wurden bei der postmortalen Bearbeitung vorgenommen. Die Wanddicke links wurde abgenommen an der Basis des Papillarmuskels, am rechten Herzventrikel an der dicksten Stelle. - Die von BOELLAARD (1952) untersuchten 30 Fälle sind in 3 Altersgruppen eingeteilt: Frühgeburten, Neugeborene bis zu einem Alter von 12 Lebenstagen, Säuglinge im Alter von 6 Wochen bis 10 Monaten. Davon führen wir in unseren Tabellen nur einzelne unserer Alterseinteilung entsprechende Werte auf. Die Bestimmung der Wanddicke der beiden Herzventrikel bei BOELLAARD erfolgte mittels der Schublehre an quergeschnittenen Herzen. Der Querschnitt wurde auf der Hälfte zwischen Apex und Basis parallel zur letzteren geführt und entspricht somit unserer eigenen Schnittführung. - WENDT und HESSE (1947) führten histologische Messungen an normalen und hypertrophen Herzen durch. Die in 6 Fällen bei normalen kindlichen Herzen im Alter von 15 Tagen bis 15 Monaten bestimmte Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels ist in Tabelle IV bzw. V angegeben. - Schließlich enthält Tabelle V noch die von KYRIELEIS (1963) für Neugeborene (9 Fälle) und Säuglinge im Alter von 1 - 4 Monaten (14 Fälle) rechnerisch aus Herzgewicht dividiert durch äußere Oberfläche bestimmte Wanddicke der rechten Herzkammer.

Die Betrachtung der in den beiden Tabellen IV und V angeführten Werte für die mittlere Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels zeigt, daß unsere in sämtlichen Altersklassen niedriger liegen, als diejenigen der zum Vergleich herangezogenen Autoren. Dabei entsprechen sich die Ergebnisse SCHULZ und GIORDANO (1962), BOELLAARD (1952) und WENDT und HESSE (1947) weitgehend. Die von KYRIELEIS (1963) berechneten zwei Einzelwerte der mittleren Wandstärke der rechten Herzkammer für Neugeborene und Säuglinge liegen

Tabelle IV

Mittlere Wanddicke des linken Herzventrikels in mm bei Foeten, Säuglingen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren. Vergleichende Gegenüberstellung der eigenen Meßergebnisse denen von SCHULZ u. GIORDANO (1962), BOELLAARD (1952) und WENDT und HESSE (1947).

| Alter | SCHULZ u. GIORDANO | BOELLAARD | WENDT u. HESSE | eigene Messungen          |
|-------|--------------------|-----------|----------------|---------------------------|
| III   |                    |           |                | 0,50                      |
| IV    |                    |           |                | 1,00                      |
| V     | 2,0                | 2,0       |                | 2,30                      |
| VI    | 2,8 ± 0,8          | 2,5 ± 1,0 | 2,0 - 3,0      | 1,80 ± 0,03 (1,58 ± 0,97) |
| VII   | 3,5 ± 1,0          | 3,0 ± 1,3 | 3,0            | 1,70 ± 0,35 (1,61 ± 0,35) |
| VIII  | 3,9 ± 1,5          | 3,6 ± 1,1 |                | 2,72 ± 0,79 (1,92 ± 0,20) |
| IX    | 4,2 ± 1,5          | 4,2 ± 1,5 |                | 2,88 ± 0,76 (2,19 ± 0,30) |
| 0     | 4,6 ± 1,1          | 4,5 ± 1,3 | 4,5 - 5,0      | 2,80 ± 0,56               |
| 1     | 5,9 ± 1,5          | 5,3 ± 1,0 | 5,0            | 2,75 ± 0,55               |
| 2     | 6,0 ± 1,5          | 6,3 ± 1,5 | 5,5            | 3,64 ± 0,11               |
| 3     | 6,4 ± 1,7          | 6,0 ± 1,2 | 6,0            | 3,81 ± 0,34               |
| 4     | 6,5 ± 1,3          | 6,6 ± 1,1 | 7,0            | 4,10                      |
| 5     | 6,8 ± 1,9          | 7,0 ± 1,6 |                | 4,10 ± 0,76               |
| 8     | 7,6 ± 1,8          | 7,2 ± 1,4 |                | 4,14 ± 0,89               |
| 12    | 7,9 ± 1,6          | 7,8 ± 2,4 | 8,0            | 4,33 ± 0,35               |
| 24    | 8,0 ± 1,7          | 8,1 ± 1,6 |                | 4,49 ± 0,52               |
| 36    | 7,9 ± 1,5          | 8,0 ± 1,7 |                | 5,40 ± 0,33               |
| 48    | 8,6 ± 1,7          | 8,6 ± 1,6 |                | 6,54                      |

Die Altersklassen entsprechen dem jeweiligen intrauterinen (römische Zahlen) und extrauterinen (arabische Zahlen) Lebensmonat. Die Altersklasse 0 kennzeichnet den Zeitpunkt der Geburt. - Bei SCHULZ u. GIORDANO sind in der Spalte an erster Stelle die bei männlichen, an zweiter die bei weiblichen Kindern bestimmten Werte der Herzwanddicke angegeben. - In der Rubrik der eigenen Messungen sind hinter den für Totgeburtens Mens. VI - IX geltenden Werten in Klammern die für Frühgeburten der gleichen Altersklassen aufgeführt.

Tabelle V

Mittlere Wanddicke des rechten Herzventrikels in mm bei Foeten, Säuglingen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren. Vergleichende Gegenüberstellung der eigenen Messergebnisse denen von SCHUIZ u. GIORDANO (1962), BOELLHARD (1952), WENDT u. HESSE (1947) und KYRIELEIS (1963).

| Alter | SCHUIZ u. GIORDANO | BOELLHARD | WENDT u. HESSE | KYRIELEIS   | eigene Messungen          |
|-------|--------------------|-----------|----------------|-------------|---------------------------|
| III   |                    |           |                |             | 0,50                      |
| IV    |                    |           |                |             | 0,55                      |
| V     | 2,0                | 2,0       |                |             | 1,13                      |
| VI    | 2,0 ± 0,7          | 2,2 ± 0,6 |                |             | 1,01 ± 0,07 (0,94 ± 0,24) |
| VII   | 2,6 ± 0,8          | 2,3 ± 0,9 | 2,5            |             | 0,87 ± 0,36 (0,99 ± 0,17) |
| VIII  | 2,8 ± 1,3          | 2,4 ± 1,1 |                |             | 1,66 ± 0,60 (1,01 ± 0,16) |
| IX    | 3,0 ± 1,1          | 3,0 ± 1,2 |                |             | 1,73 ± 0,37 (1,32 ± 0,31) |
| 0     | 3,2 ± 1,0          | 3,2 ± 1,0 | 3,5 - 4,5      | 5,07 ± 0,04 | 1,69 ± 0,34               |
| 1     | 2,6 ± 0,7          | 2,7 ± 0,7 |                |             | 1,27 ± 0,19               |
| 2     | 2,9 ± 1,0          | 2,8 ± 0,8 | 1,0 - 2,0      |             | 1,55 ± 0,71               |
| 3     | 2,5 ± 1,0          | 2,6 ± 1,1 | 2,5            | 3,67 ± 0,03 | 1,31 ± 0,18               |
| 4     | 2,3 ± 0,7          | 2,5 ± 0,8 | 3,0            |             | 1,74                      |
| 5     | 2,6 ± 0,8          | 2,6 ± 0,8 |                |             | 1,42 ± 0,28               |
| 8     | 2,7 ± 1,0          | 2,5 ± 0,7 |                |             | 1,55 ± 0,26               |
| 12    | 2,8 ± 0,8          | 2,7 ± 0,5 | 3,5            |             | 1,31 ± 0,19               |
| 24    | 2,6 ± 0,8          | 2,5 ± 0,6 |                |             | 1,09 ± 0,32               |
| 36    | 2,7 ± 0,6          | 2,4 ± 0,5 |                |             | 1,43 ± 0,13               |
| 48    | 2,4 ± 0,6          | 2,7 ± 0,5 |                |             | 1,44                      |

Die Altersklassen entsprechen dem jeweiligen intrauterinen (römische Zahlen) und extrauterinen (arabische Zahlen) Lebensmonat. Die Altersklasse 0 kennzeichnet den Zeitpunkt der Geburt. - Bei SCHUIZ u. GIORDANO sind in der Spalte an erster Stelle die bei männlichen, an zweiter die bei weiblichen Kindern bestimmten Werte der mittleren Wanddicke des rechten Herzventrikels angegeben. - In der Rubrik der eigenen Messungen sind hinter den für Totgeburt Iena VI - IX geltenden Werten in Klammern die für Frühgeburten der gleichen Altersklassen aufgeführt.

wiederum deutlich höher als die der übrigen 3 Autoren in den gleichen Altersgruppen. Die Unterschiedlichkeit der jeweils entsprechenden mittleren Wanddicken ist wohl bedingt durch die verschiedene Methodik.

Sich entsprechende Meßwerte der Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels finden sich bei SCHULZ und GIORDANO (1962) für Foeten des V. intrauterinen Lebensmonats. Schon für Mens VI werden von diesen Autoren und auch von BOELLAARD (1952) Werte angegeben, nach denen die linke Ventrikelwand die rechte in ihrer Stärke übertrifft. Im Gegensatz dazu geht aus unseren Werten eine Linksdominanz schon für den IV. intrauterinen Lebensmonat hervor. Von uns wurde nur in einem Falle, bei einem III Monate alten Foeten, die gleiche Wanddicke von linkem und rechtem Herzventrikel gemessen. Diese Relation von R : L = 1 : 1 ist im gesamten übrigen Material nicht mehr vorhanden. Hierzu ist auf die mathematisch-statistische Auswertung unserer Ergebnisse mittels eines Polynoms 3. Grades hinzuweisen. Daraus geht hervor, daß zu keinem Zeitpunkt des von uns betrachteten Lebensabschnitts vom III. intrauterinen Lebensmonat bis zum 4. Lebensjahr eine Gleichheit der Wanddicke des freien Anteils der beiden Herzventrikel besteht.

Am besten lassen sich unsere Ergebnisse mit denen von SCHULZ und GIORDANO (1962) vergleichen, obwohl, wie oben schon erwähnt, unsere Werte niedriger liegen als die der angegebenen Autoren. Hier wie dort geht aus den Einzelwerten für die Wanddicke der linken Ventrikelwand mit zunehmendem Alter eine erhebliche Wachstumstendenz derselben hervor mit kontinuierlicher Dickenzunahme, wogegen der rechte Ventrikel eine solche nur bis zum Zeitpunkt der Geburt zeigt und dann in seiner Entwicklung stehen zu bleiben scheint. Nach SCHULZ und GIORDANO (1962) nimmt die Wanddicke des linken Herzventrikels von 2,8 mm im VI. auf 4,2 mm im IX. intrauterinen Lebensmonat um insgesamt 1,4 mm zu; entsprechend für den rechten Herzventrikel beträgt dieser Zuwachs 1,0 mm. Von der Geburt an bis zum 4. Lebensjahr wird nach den gleichen Autoren die linke Ventrikelwand um 4,0 mm dicker, während die rechte um 0,8 mm in ihrer Stärke abnimmt. Vergleichen wir damit unsere eigenen Ergebnisse, so berechnen sich die korrespondierenden Werte für die Zeitspanne von Mens VI - IX als 1,08 mm für den linken und 0,72 mm für den rechten Herzventrikel; in dem Lebensabschnitt von der Geburt bis zum 4. Lebensjahr erfährt die Wanddicke der linken Herzkammer eine Zunahme von 3,74 mm, die der rechten nimmt in diesem Zeitraum um 0,25 mm ab.

Die Berechnung des Verhältnisses der Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels ergibt nach unseren eigenen Werten ein höheres als bei SCHULZ und GIORDANO (vergleiche hierzu Tabelle VI). Es ist annähernd vergleichbar etwa bis zum Alter von 1 Jahr, dann übersteigt die von uns errechnete Relation  $R : L$  die von SCHULZ und GIORDANO bestimmte erheblich.

Aus den beiden Tabellen IV und V geht (deutlich bei allen angeführten Autoren wie auch in unserem Material) eine Abnahme der Wanddicke des rechten Herzventrikels mit dem Übergang vom intrauterinen Leben zum extrauterinen hervor. Das ist auch ersichtlich aus dem Verhalten des Rechts-Links-Verhältnisses, das entsprechend ansteigt.

LINZBACH, HORT und BOELLAARD haben durch mikrometrische Untersuchungen des Herzmuskelfaserdurchmessers in zahlreichen Arbeiten dargestellt, daß nach der Geburt der mittlere Faserdurchmesser zwar abnimmt, aber nicht genug, um die Verdünnung der rechten Kammerwand ausreichend zu erklären. LINZBACH prägte den Begriff der "Physiologischen Gefügedilatation", einer besonderen Form der Dilatation ohne Faserdehnung durch Umschichtung des Wandgefüges, indem sich die Muskelfasern der rechten Ventrikelwand "auf Lücke stellen". Ergänzend fügen sich die durch Untersuchungen des Gewichtes, der Querschnittsfläche und Oberfläche des rechten Herzventrikels gewonnenen Erkenntnisse von KYRIELEIS ein.

Der fast augenblicklich erfolgende "funktionelle" Verschluß von Foramen ovale und Ductus Botalli mit der Geburt und dem Einsetzen der Atmung führt zu einer neuartigen Belastung des rechten Herzens durch eine Erhöhung des zu bewältigenden Schlagvolumens und einer damit einhergehenden geringeren Druckbelastung. Daraus resultiert verständlicherweise eine Dilatation des rechten Herzventrikels und vorübergehend auch des linken (BARCLAY, A.E., FRANKLIN, K.J., PRICHARD, M.M.L., 1944). Auf diese kreislaufphysiologischen Gegebenheiten möchten wir in Übereinstimmung mit LINZBACH, HORT, BOELLAARD und KYRIELEIS die auch aus unseren eigenen Untersuchungen ersichtliche Abnahme der Wanddicke des rechten Herzventrikels nach der Geburt zurückführen. Diese sog. "Physiologische Gefügedilatation" der rechten Herzkammerwand geht auch aus der mathematisch-statistischen Auswertung unserer Ergebnisse (vergleiche hierzu Diagramm 9) klar hervor.

Tabelle VI

Verhältnis der mittleren Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels bei Foeten, Säuglingen und Kleinkindern bis zu einem Alter von 4 Jahren. Vergleichende Gegenüberstellung der Relation R : L bei SCHULZ u. GIORDANO (1962) und der eigenen Ergebnisse.

| Alter | SCHULZ u. GIORDANO | eigene Messungen |
|-------|--------------------|------------------|
| V     | 1 : 1,00           | 1 : 2,04         |
| VI    | 1 : 1,40           | 1 : 1,78         |
| VII   | 1 : 1,35           | 1 : 1,96         |
| VIII  | 1 : 1,39           | 1 : 1,64         |
| IX    | 1 : 1,40           | 1 : 1,66         |
| 0     | 1 : 1,44           | 1 : 1,65         |
| 1     | 1 : 2,27           | 1 : 2,16         |
| 2     | 1 : 2,07           | 1 : 2,35         |
| 3     | 1 : 2,56           | 1 : 2,91         |
| 4     | 1 : 2,82           | 1 : 2,36         |
| 5     | 1 : 2,62           | 1 : 2,88         |
| 8     | 1 : 2,82           | 1 : 2,67         |
| 12    | 1 : 2,82           | 1 : 3,30         |
| 24    | 1 : 3,08           | 1 : 4,12         |
| 36    | 1 : 2,92           | 1 : 3,78         |
| 48    | 1 : 3,58           | 1 : 4,54         |

Die Altersklassen entsprechen dem jeweiligen intrauterinen (römische Zahlen) und extrauterinen (arabische Zahlen) Lebensmonat. Die Altersklasse 0 kennzeichnet sozusagen den Zeitpunkt der Geburt; in ihr sind solche Säuglinge zusammengefaßt, die reif zur Welt kamen und nur kurze Zeit überlebten. - Zur Berechnung der Relation R : L in den Altersklassen Mens VI-IX benutzten wir die bei Totgeburten gemessenen Werte der mittleren Wanddicke des linken und rechten Herzventrikels.



## ZUSAMMENFASSUNG

Stellt man nun unsere an 3 Untersuchungsgruppen gewonnenen Ergebnisse in einer kurzen Übersicht nebeneinander, dann ergibt sich folgendes Bild:

1. Zu Anfang, d.h. im dritten intrauterinen Monat sind die beiden Herzventrikel in ihrer Wandstärke nahezu gleich angelegt, ein Befund, der aus der Entwicklung des Herzens in Form eines einfachen Schlauches, der sich zu einer Schleife legt, zu verstehen ist.
2. Diese gleiche Dicke der Herzkammerwände ist mit zunehmendem Wachstum des Foeten nicht mehr vorhanden. Schon im IV. intrauterinen Lebensmonat zeigt sich eine Dominanz des linken Ventrikels mit einer Relation von  $R : L = 1 : 1,82$ . Durch die mathematisch-statistische Auswertung unserer Ergebnisse mittels eines Polynoms 3. Grades konnte diese Beobachtung noch untermauert werden.
3. Für die Totgeburten Mens VI - IX findet sich ein Verhältnis von  $R : L = 1 : 1,76$ , ein Wert, der dem bei den Frühgeburten des gleichen Gestationsalters, die wenige Stunden bis Tage gelebt haben mit  $1 : 1,71$  annähernd entspricht.
4. Die totgeborenen unterscheiden sich von den frühgeborenen Kindern gleicher Reife, bei denen die Kreislaufumstellung bereits erfolgt war, bezüglich der gemessenen mittleren Dicke der Herzkammerwände. Diese ist bei den Kindern, die gelebt haben, kleiner als bei den Totgeburten, besonders deutlich zeigt sich dies an der linken Kammerwand. Die mittlere Wanddicke ist bei den lebend geborenen Kindern im VI. - IX. Monat links durchschnittlich um 0,46 mm, rechts um 0,25 mm geringer, als bei den totgeborenen. Die Dickenabnahme auf beiden Seiten ist bedingt durch die veränderte funktionelle Belastung der beiden Herzhälften.
5. Das Verhältnis der mittleren Wanddicke des rechten zu der des linken Herzventrikels beim reifen Neugeborenen unterscheidet sich mit  $1 : 1,65$  gegenüber  $1 : 1,71$  bei Frühgeburten Mens VI - IX nicht wesentlich.

6. Im ersten extrauterinen Lebensmonat besteht eine Relation von  $R : L = 1 : 2,8$ , bedingt durch eine erhebliche Dickenabnahme der rechten Kammerwand, die wir auf die von LINZBACH beschriebene "Physiologische Gefügedilatation" des rechten Herzventrikels nach der Geburt beziehen möchten. Zu einem entsprechenden Ergebnis gelangten wir auch durch die mathematisch-statistische Auswertung unserer Messungen.
7. Mit dem 2. Lebensmonat setzt ein neuerliches Dickenwachstum ein, das vorwiegend den linken Herzventrikel betrifft, während der rechte im Vergleich dazu dünner wird. Die Wanddicke rechts bleibt bis zum 4. Lebensjahr annähernd gleich. Entsprechend verändert sich das Verhältnis von  $R : L = 1 : 2,35$  im 2. Monat auf  $1 : 3,3$  im Alter von 1 Jahr und  $1 : 4,54$  mit 4 Jahren.

## LITERATURVERZEICHNIS

1. BAMBERG, K. u. PUTZIG, H.: Z. f. Kinderheilkunde 20, Berlin, 195 - 211 (1919)
2. BARCLAY, A.E., FRANKLIN, K.J., PRICHARD, M.M.L.: The Foetal Circulation and Cardiovascular System and the Changes that they Undergo at Birth. Oxford 1944
3. BARGMANN, W. u. DOERR, W.: Das Herz des Menschen, Bd.I, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 121 (1963)
4. BENEKE, R.: Beitr. path. Anat. 67, 1 - 27 (1920)
5. BENNINGHOFF, A.: Morph. Jb. 67, 262 (1931)
6. BENNINGHOFF, A.: Anatomie II, 4. Aufl., 435 (1952)
7. BENNINGHOFF, A. u. NITSCHKE: Verh. d. anat. Ges. 83, 155 - 158 (1936/37)
8. BOELLAARD, J.W.: Z. Kreislaufforschung 41, 101 - 111 (1952)
9. BROCK, J.: Biologische Daten für den Kinderarzt, Bd. I, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 352 - 362 (1954)
10. BRÜNNING, H. u. SCHWALBE, E.: Handb. d. allg. Path. u. d. path. Anat. des Kindesalters, Wiesbaden, 38 (1912)
11. COPPOLETTA, J.M. u. WOLBACH, S.B.: Amer. J. of Path. Vol. IX/1, 55 - 70 (1933)
12. DIETLEN, H.: Handb. d. normalen u. path. Physiologie 7/1, 306 - 386 (1926)
13. DRAGENDORFF, O.: in PETER, WETZEL, HEIDERICH: Handb. d. Anatomie des Kindes, München (1938)
14. DRECHSEL, J.: Z. anat. Entwickl. Gesch. 87, 29 - 44 (1928)
15. DÜLL, M.: Beiträge path. Anat. 105, 337 - 365 (1941)
16. EWERBECK, H.: Der Säugling, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 7 (1962)

17. FALK, K.: Das Wachstum des Herzens bei Kindern, Diss. Petersburg (1911), in GUNDOBIN, N.P.: Die Besonderheiten des Kindesalters, Berlin (1912)
18. FENEIS, H.: Gegenbaurs Morph. Jb. 89, 371 (1943/44)
19. GERLACH, W.: Erg. d. allg. Path. u. path. Anat. 20/II, 259 (1923)
20. GEWERT, M.: Über die Schwankungen des Herzgewichts in den verschiedenen Lebensaltern unter normalen und pathologischen Verhältnissen. Verlag Gustav Fischer, Jena (1929)
21. GIORDANO, A.: Virch. Arch. path. Anat. 301, 380 - 385 (1938)
22. GOERTTLER, K.: Beitr. path. Anat. 115, 33 - 56 (1955)
23. GOERTTLER, K.: Normale und pathologische Entwicklung des menschlichen Herzens. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1958)
24. GOLDSCHMID, E.: Handb. d. normalen u. path. Physiologie, 7/1, 141 - 157 (1926)
25. GOULD, S.E.: Pathology of the Heart, Springfield III, (1953)
26. GRANT, R.P.: Circulation, Vol. 23/5, 645 - 647 (1961)
27. GRUNEWALD, P. u. MINH, H.N.: Amer. J. of Clinical Path. 34/3, 247 - 253 (1960)
28. HAYEK, v.H.: Verh. d. anat. Ges. 47, 166 - 171 (1939)
29. HECK, W.: in WIESENER, H.: Entwicklungsphysiologie des Kindes, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 37 - 76 (1964)
30. HENRYSSON, S., HASELOFF, O.W., HOFFMANN, H.J.: Kleines Lehrbuch der Statistik, Walter de Gruyter u. Co., Berlin (1960)
31. HORT, W.: Virch. Arch. path. Anat. 323, 223 - 242 (1953)  
Virch. Arch. path. Anat. 326, 458 - 484 (1955) - Virch. Arch. path. anat. 327, 560 - 576 (1955) - Verh. dtsh. Ges. Kreisf. Forsch. 23, 343 (1957) - Virch. Arch. path. Anat. 329, 694 - 731 (1957) - Virch. Arch. path. Anat. 333, 565 - 581 (1960) - Virch. Arch. path. Anat. 333, 523 - 564 (1960)
32. KAUFMANN, E., STÄMMLER, M.: Lehrbuch der speziellen pathologischen Anatomie Bd. I/1, Walter de Gruyter u. Co., Berlin, 166 (1955)

33. KEEN, E.N.: J. of Anat. 89/4, 484 - 502 (1955)
34. KEEN, J.A.: J. of Anat. 77/1, 104 - 109 (1942/43)
35. KIRCH, E.: Z. angew. Anat. Konstit.lehre 7, 235 - 384 (1921) -  
Klin. Wschr. 17/18, 769 - 817 (1930) - Virch. Arch. path. Anat. 291,  
682 (1933) - Aktuelle Kreislaufragen, Nauheimer Fortbildungslehrgänge,  
Bd. 14, Dresden, Th. Steinkopff, 47 (1938)
36. KISCH, B.: Herz u. Kapillaren, 75 (1957)
37. KOCH, W.: Der funktionelle Bau des menschlichen Herzens, Urban u.  
Schwarzenberg, Berlin und Wien, 1922
38. KOLLER, S.: in RAUEN, H.M.: Biochemisches Taschenbuch, 2.Aufl.,  
Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, Statistische Auswertungs-  
methoden, 1028 - 1031 (1964)
39. KYRIELEIS, Ch.: Virch. Arch. path. Anat. 337, 142 - 163 (1963)
40. LANGENSTEIN, L. u. PUTZIG, H.: Jahreskurse ärztl. Fortb. (1914)
41. LEMMERZ, A.H., SCHMIDT, R., KRAMMANN, J.: Die Deutung des  
Ekg, Verlag G.Braun, Karlsruhe, 29 (1964)
42. LEV, M., SIMKINS, S.: Amer. Heart J. 37/4, 647 (1949)
43. LEWIS, T.: Heart 5, London, 21 - 24 (1913/14)
44. LIND, J.: in LINNEWEH, F.: Die physiologische Entwicklung des  
Kindes, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 105 - 128 (1959)
45. LIND, J. u. WEGELIUS, C.: Acta Paediatrica, Vol. 41, 495 (1952)
46. LINDNER, A.: Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner  
und Ingenieure, Birkenhäuser-Verlag, Basel und Stuttgart (1951) -  
Planen und Auswerten von Versuchen, Birkenhäuser-Verlag, Basel u.  
Stuttgart (1959)
47. LINZBACH, A.J.: Virch. Arch. path. Anat. 314, 534 - 593 (1947) -  
Virch. Arch. path. Anat. 318, 575 - 618 (1950) - Klin. Wschr. 29, 621  
(1951) - Virch. Arch. path. Anat. 328, 165 - 181 (1956) - Verh. dtsch.  
Ges. Kreisl. Forsch. 24, 3 - 15 (1958) - Handb. d. allg. Path. Springer-  
Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 180 - 291 (1955) - Funktionelle  
Anatomie des kindlichen Herzens in: LINNEWEH, F.: Die physiologische  
Entwicklung des Kindes, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg,  
96 - 104 (1959)

48. MALL, F.P.: Amer.J.of Anat. 11, Philadelphia, P.A. 211 - 266 (1910/11)
49. Mc.CALLUM, J.B.: Johns Hopkins Hospital Reports, Baltimore, Vol.IX, 307 - 335 (1900)
50. MERKEL, H. u. WITT, H.: Beitr. path.Anat. 115, 178 - 184 (1955)
51. MOLZ, G.: Zbl.allg.Path. 103, 184 - 187 (1962)
52. MÜLLER, W.: Die Massenverhältnisse des menschlichen Herzens, Verlag v. Leopold Voss, Hamburg u. Leipzig, (1883)
53. OGNEW, B.M., SAWWIN, W.N., SAWELJEWA, L.A.: Anatomie und Pathologie der Gefäßversorgung des Herzens (1958)
54. OPITZ, H., de RUDDER, B.: Pädiatrie, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 165 (1957)
55. PATTEN, B.M.: Amer.Heart J. 6/2, 192 - 205 (1930/31) - Human Embryology, Blackiston, 608 - 697 (1948)
56. PATTEN, B.M. u. TOULMIN, K.: Laboratory of Histology and Embryology, School of Medicine, Western Reserve University, Anatomical Record 45, 235 (1930)
57. POTTER, E.L. u. ADAIR, F.L.: Fetal and Neonatal Death, The Univ. of Chicago Press, Chicago, Ill. 20 - 28 (1950)
58. PUFF, A.: Der funktionelle Bau der Herzkammern, Thieme Verlag, Stuttgart (1960)
59. RECAVARREN, S. and ARIAS-STELLA, J.: British Heart J. Vol. 26/2, 187 - 192 (1964)
60. ROBB, J.S. u. ROBB, R.G.: Amer.Heart J. 23, 455 - 467 (1942)
61. RÖSSLE, R. u. ROULET, F.: Maß und Zahl in der Pathologie, J.Springer Berlin und Wien (1932)
62. ROSSI, E.: Herzkrankheiten im Säuglingsalter, Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1954)
63. RUCKER, P., CONNELL, J.W.: Amer.J. of Diseases of Children, Vol. 27/1, 6 - 24 (1924)

64. RUSSEL, S.J.: *Circulation* 7/3, 357 - 369 (1953)
65. SAPHIR, O.: *Autopsy, Diagnosis and Technic*, ed 4, New York, Holber, 509, (1958)
66. SCHULZ, D.M., GIORDANO, D.A.: *Arch. of Path.* 74/5, 464 - 471 (1962)
67. SCHULZ, D.M., GIORDANO, D.A., SCHULZ, D.H.: *Arch. of Path.* 74/3, 244 - 250 (1962)
68. SCHOENMACKERS, J.: *Virch. Arch. path. Anat.* 331, 3 - 22 (1958)
69. SMITH, C.A.: *The Physiology of the Newborn Infant*. ed 2, Springfield, Ill., Charles C. Thomas, 74 - 113 (1951)
70. SMITH, H.L.: *Amer. Heart J.* Vol. 4, 79 - 93 (1929)
71. SPITZER, A.: *Virch. Arch. path. Anat.* 243, 81 - 272 (1923)
72. STARCK, D.: *Embryologie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 508 - 521 (1955)
73. TANDLER, J.: *Anatomie des Herzens*; in v. BARDELEBEN: *Handbuch der Anatomie des Menschen*, Jena 1913
74. THANE, G.D.: *Quains' Elements of Anatomy*, Vol 2, Part II, London 1894
75. TIGERSTEDT, R.: *Die Physiologie des Kreislaufs* Bd. I - Berlin und Leipzig, 75 - 85 (1921)
76. TÖNDURY, G.: *Verh. dtsch. Ges. Kreisf. Forsch.* 23, 177 (1957)
77. VIERODT, H.: *Anatomische, physiologische und physikalische Daten und Tabellen zum Gebrauch für Mediziner*, Verlag von Gustav Fischer, Jena, 46 (1906)
78. WEITZ, G.: *Med. Klin.* 46, 1031 (1951)
79. WENDT, L. und HESSE, H.: *Virch. Arch. path. Anat.* 314, 294 - 314 (1947)
80. YLPPÖ, A.: *Z. f. Kinderheilkunde* 20, 311 - 317 (1919)
81. ZEEK, M.P.: *Arch. of Path.* 34/5, 820 - 832 (1942)

82. ZIEGENSPECK, R.: Sammlung klin. Vortr. 401 (Gynäkologie Nr. 148)  
Leipzig, 405 - 430 (1907)
83. ZIMMERMANN, S. E.: Anat. Anz. 69, 466 - 475 (1930)

Die Berechnungen zur mathematisch-statistischen Auswertung unserer Meßergebnisse wurden durchgeführt auf der elektronischen Datenverarbeitungsanlage des Deutschen Rechenzentrums in Darmstadt nach Standardprogrammen, die in Amerika von W.J. DIXON herausgegeben wurden: BMD, Biomedical Computer Programs, Health Sciences Computing Facility, Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine of California, Los Angeles, Jan. 1964.

Für die Beratung und Bearbeitung des statistischen Anteiles möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Koller und Herrn Dr. Horbach vom Institut für Medizinische Statistik und Dokumentation der Universität Mainz recht herzlich bedanken.



## LEBENS LAUF

Am 5. Juni 1939 bin ich als älteste Tochter der Augenärzte Dr. Ludwig und Dr. Marion Causeé, geb. Müller-Engelhardt, in Mainz geboren. Ab Frühjahr 1945 besuchte ich die Volksschule und ab Herbst 1948 den naturwissenschaftlichen Zweig der Maria Ward-Schule in Mainz, wo ich im Februar 1957 die Reifeprüfung bestand.

Im Sommer 1957 begann ich in Mainz das Studium der Medizin. Vom Winter-Semester 1957/58 bis Sommer-Semester 1959 einschließlich war ich an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br. eingeschrieben, wo ich im Sommer 1959 das Physikum bestand. Im WS 1959/60 studierte ich an der Universität in Innsbruck, in den beiden folgenden Semestern (SS 1960 und WS 1960/61) an der Universität in München. Von SS 1961 bis SS 1962 (9. - 11. Fachsemester) war ich wieder an der Universität Freiburg i. Br. immatrikuliert, wo ich am 17. November 1962 das medizinische Staatsexamen mit Erfolg bestand.

Nach dem Examen arbeitete ich zunächst 17 Monate am Pathologischen Institut der Universität Mainz (Prof. Dr. H. Bredt). Seit dem 1. Juni 1964 bin ich im Rahmen meiner Medizinalassistentenzeit am Stadtkrankenhaus Rüsselsheim tätig: 1. 6. - 31. 12. 1964 Interne Abteilung, Prof. Dr. A. Moll; 1. 1. - 30. 6. 1965 Chirurgische Abteilung, Prof. Dr. T. Burckhard; seit 1. 7. 1965 Geburtshilflich-gynäkologische Abteilung, Chefarzt Dr. Schrank.









